Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Structural Slabs and Roofs: Condition Survey

Document D31

Canada

Building Performance Evaluation Series

Structural Slabs and Roofs: Condition Survey

Document D31

AES 1-4:86-40

March 1988

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title STRUCTURAL SLABS AND ROOFS: CONDITION SURVEY	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-40
	3. Date March 1988
4. Author(s) C. Patrickson, Division of Civil Engineering Public Works Canada	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D31
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-456, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 36
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

This document outlines the methods of testing and analyzing the condition of structural slabs and roofs. It provides a series of tests to: ensure compliance with building codes; check structural members for aging and deterioration and; prove continued performance with structural overloading and occupancy changes. The tests range in complexity from unequipped observation to complex, in-depth monitoring. Methods for archival search, walkthrough observation and occupancy use analysis are described. Sample check lists and questions are supplied. The simple measurement techniques included are deflection and deformation measurement, and floor vibration. The complex tests involve the pacometer (covermeter), strain gauges, Schmidt rebound hammer testing, Capo pull-out tests, the ultrasonic pulse velocity meter, and fiber optic probing. a list of materials and structural analysis software and a description of the procedure for fullscale loading tests are also provided. An extensive list of references is provided for further study.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP D31	21. Price

DPW 2398 (86/09)

TABLE OF CONTENTS

	PREFACE	*ix*
1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	Purpose and Objectives	*1*
1.2	Background Information	*1*
2.	**TERMS OF REFERENCE**	*2*
2.1	General Framework	*2*
2.2	Limitations of Evaluation Technique	*2*
3.	**METHODOLOGY**	*3*
3.1	Stage I	*3*
3.1.1	Plan and Archive Analysis	*3*
3.1.1.1	Description of Techniques	*3*
3.1.1.2	Resource Allocation and Timing	*4*
3.1.2	Expert Walkthrough Analysis	*4*
3.1.2.1	Description of Techniques	*4*
3.1.2.2	Equipment	*4*
3.1.2.3	Assessment	*5*
3.1.2.4	Resource Allocation and Timing	*5*
3.1.2.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*5*
3.1.3	Occupancy and Use Analysis	*6*
3.1.3.1	Description of Techniques	*6*
3.1.3.2	Equipment	*6*
3.1.3.3	Assessment	*6*
3.1.3.4	Resource Allocation and Timing	*6*
3.1.3.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*6*
3.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	*6*
3.2.1	Deflection and Deformation Measurements	*6*
3.2.1.1	Description of Techniques	*7*
3.2.1.2	Equipment	*8*
3.2.1.3	Assessment	*8*
3.2.1.4	Resource Allocation and Timing	*9*
3.2.1.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*9*

3.2.2	Excessive Floor Vibration	9
3.2.2.1	Description of Techniques	9
3.2.2.2	Equipment	9
3.2.2.3	Assessment	9
3.2.2.4	Resource Allocation and Timing	12
3.2.2.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	12
3.3	Stage III - Specialized In Depth Monitoring	12
3.3.1	Strain Gauges	13
3.3.1.1	Purpose	13
3.3.1.2	Description of Techniques	13
3.3.1.3	Equipment	13
3.3.1.4	Assessment	14
3.3.1.5	Resource Allocation and Timing	14
3.3.1.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	15
3.3.2	Schmidt Rebound Hammer Test	15
3.3.2.1	Purpose	15
3.3.2.2	Description of Techniques	15
3.3.2.3	Equipment	15
3.3.2.4	Assessment	15
3.3.2.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	15
3.3.3	The CAPO Pull-out Test	15
3.3.3.1	Purpose	15
3.3.3.2	Description of Techniques	15
3.3.3.3	Equipment	15
3.3.3.4	Assessment	16
3.3.3.5	Resource Allocation and Timing	16
3.3.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	16
3.3.4	Ultrasonic Pulse Velocity Method	16
3.3.4.1	Purpose	16
3.3.4.2	Description of Techniques	18
3.3.4.3	Equipment	18
3.3.4.4	Detailed Procedure	18
3.3.4.5	Assessment	18
3.3.4.6	Resource Allocation and Timing	20
3.3.4.7	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	20
3.3.5	Fibroscope or "Fibreoptic Probe"	20

3.3.6	Pachometer or Covermeter	20
3.3.6.1	Purpose	20
3.3.6.2	Description of Techniques	20
3.3.6.3	Equipment	20
3.3.6.4	Detailed Procedure	20
3.3.6.5	Measurement Limitations	21
3.3.7	Computer Programs	21
3.3.7.1	Purpose	21
3.3.7.2	Available Programs	21
3.3.8	Full-Scale Loading Tests	21
3.3.8.1	Purpose	21
3.3.8.2	Description of Techniques	21
3.3.8.3	Equipment	22
3.3.8.4	Assessment	22
3.3.8.5	Resource Allocation and Timing	23
3.3.8.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	24
4.	**REFERENCES**	27
5.	**APPENDICES**	27
5.1	Standard Terms and Units of Measurement – not applicable	
5.2	Governing Authorities and Regulations	27
5.3	Checklist for Plan and Archive Analysis	27
5.4	Checklist for Expert Walkthrough Analysis	30
5.5	Suggested Questions for Focused Interviews	33
5.6	Building Performance Evaluation Document List	36

LIST OF FIGURES

3.1.1	Schematic of significant cracks in a masonry partition supported by a flexed slab or beam	4
3.2.1	Schematic of a device for measuring floor surface profile	7
3.2.2	Schematic of a "Measuring chair" for floor flatness measurement	8
3.2.3	Typical response to heel drop test	10
3.2.4	Annoyance Criteria for Floor Vibrations	11
3.3.1	Locations of strain gauges on steel truss	14
3.3.2	CAPO-test sequence for testing hardened concrete	17
3.3.3	A view of the PUNDIT	19
5.3.1	Typical Construction Elements Floor and Roof Decks	28
5.3.2	Typical Construction Elements Beams	29

PREFACE

A good knowledge of the condition of a building structure is required when a modification of the structure is needed to adapt the building to a new purpose. It is also required when, due to aging or deterioration, the existing structural capacity to sustain loads needs to be verified or repairs need to be designed and cost evaluated.

To evaluate the structural performance of a building, information is needed on its structural system and on the causes of its deterioration. The purpose of this document is to assist the engineer in the condition survey of flexural members -- roofs, floors, slabs and beams. To help the evaluation process a series of investigation techniques are presented. A time allowance for each technique has been included, although resources can only be budgeted when the specifics of the building are known.

This report is one of a series dealing with condition surveys of deteriorated buildings. The other two reports deal with walls and columns and with parking garages.

1. INTRODUCTION

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

This document describes three stages of evaluation for a condition survey of flexural elements in building. Flexural elements include floors, roofs, beams, and girders. These levels, in order of increasing complexity are:

Stage I – Preliminary Assessment (Introduction)
Stage II – Simple Measurement Techniques
Stage III – Specialized In Depth Monitoring

The investigation should be done by a structural engineer or by someone under his supervision. Checklists for three Stage I methods of survey are provided in the Appendix. Investigators should carry the checklists with them while doing the survey to ensure that all items are covered.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

Deterioration of flexural elements is usually manifested by excessive deflections, tilting, gross deformations, vibration, material degradation, corrosion, spalling, cracking, dampness, and general decay.

Flexural elements may have to be assessed to ensure compliance with the National Building Code. Other reasons for a condition survey include:

Deterioration of structural elements – thermal effects, creep and shrinkage may cause excessive cracks in concrete. Dampness and chemical agents may produce corrosion, rotting and degradation of materials. Excessive deflection may cause secondary problems such as breakage of glass, sticking doors, deterioration of seals, and damage to the air/vapour barrier.

Substandard structural elements – a complete structural assessment may be necessary to establish the behaviour of structural components of unknown or questionable quality. Poor concrete formwork, concrete with honeycombs, misplaced reinforcing bars, poor welds, tilted beams, and incorrectly aligned structural elements are examples of substandard conditions.

Change in occupancy – remodelling, upgrading or modification of a building may cause increased loading of the floor and roof systems.

Proof of performance – Where extensive structural changes have been made, it may be necessary to demonstrate their adequacy.

Accidental or intentional structural overload – impact, fire, or short term extreme loading may require an assessment of structural adequacy.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

Although construction has become safer through the years, buildings still experience failures usually due to human error, lack of adequate knowledge, or poor supervision during construction. The evaluation process of reviewing the building's structure with codes and standards is a good way of identifying most of these problems.

2.2 LIMITATIONS OF THE EVALUATION TECHNIQUE

The structural performance of flexural elements can be assessed by observing their deflections, cracks, leaks, and tendency to vibrate. Since floors and roofs are usually covered by flooring, ceilings, or roofing, some removal of these elements is necessary. Some procedures, such as the CAPO pull–out test cause minor damage which may need patching once the survey is complete.

3. METHODOLOGY

3.1 STAGE I

3.1.1 Plan and Archive Analysis

3.1.1.1 Description of Techniques

The first step in the investigation of an existing building is to review the plans, specification and other documents including soils and foundation reports. Preferably, the as–built drawings should be obtained whenever possible. Reports from previous investigations and repair are also useful. From the drawings and specifications, the following information should be obtained:

a) date of construction,
b) building code then in effect,
c) design loads, and
d) material properties of structural components.
e) year of the applied building code and material standards.

Changes in the building code may create compliance problems for older buildings. For instance, provision for snow drifting on roofs was only introduced into the National Building Code in 1960. As a result, joints and beams of buildings built prior to 1960 in regions of snow pile–up may be overloaded when judged by today's code. Some other code changes are listed below.

CHANGES TO THE NATIONAL BUILDING CODE

1953 Introduction of minimum reinforcing ratios for slabs.

1960 Introduction of snow build–up provisions.

1960 Introduction of minimum shear reinforcing for beams.

1965 Introduction of concept of unbalanced moment–transfer at slab–column joints.

1965 Shear connectors required in composite construction. Prior to this, the concrete slab had only to be poured against the unpainted beam flange.

1974 Open web steel joists specifically prohibited in "semi–rigid" type framing (see Clause 8.3.2(b) of Reference 37).

Plans and drawings should be examined to detect change to the building. The originally intended use of the building should be clearly established and compared to its present use. Factors that the original design may have not considered include loads not originally intended, a wide range of temperature changes, presence of chemicals and uncontrolled moisture.

All aspects having structural implications must be reviewed, including any revisions to the protection of structural elements against deteriorating agents such as fire, rain, snow,

wind and storms. Also, the environment and occupancy suitability of structural materials should be examined. The design of bracing, stiffeners, expansion joints and connections, plus the effects of plumbing, HVAC, elevators and other building services should also be considered.

The effectiveness of the evaluation is improved if the checklist in Section 5.3 for floors and roofs is used.

3.1.1.2 Resource Allocation and Timing

Depending on the size and complexity of the building and assuming ready availability of the information, a Stage I analysis should not take more than a few days.

3.1.2 Expert Walkthrough Analysis

3.1.2.1 Description of Techniques

The walkthrough analysis is an evaluation technique aimed at obtaining an overall assessment of the structural condition of the floor and roof based on visual inspection. The technique is simple and not very time consuming.

The technical competence of the person doing the evaluation is important. The investigator should have a thorough understanding of the codes, the intent and meaning of the code provisions, and of the symptoms that reveal the condition of structural components.

The checklist for a condition survey of the floors and roof of a building is presented in Section 5.4. In addition to using the checklist, the inspector should take photographs of deteriorated components or suspicious areas.

The investigator should look for excessive deflections (caused, for example, by heavy file storage or library areas), lack of floor evenness, apparent rotations at support edges of flexural elements, cracks (particularly adjacent to walls or partitions — see Figure 3.1.1), dampness, stains, flaking, material deterioration (particularly edges), and excessive vibrations that may cause anxiety or discomfort. These symptoms must be

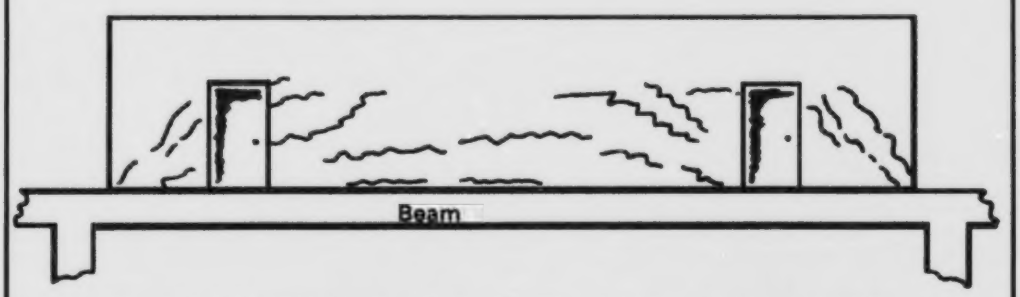


Figure 3.1.1 – Schematic of Significant cracks in a masonry partition supported by a flexed slab or beam

thoroughly investigated for possible structural implications. For example, simple stains lead to the discovery of moisture which ultimately is causing steel corrosion. Regarding roofs, the investigator should check for areas of ponding water and condition of drains/scuppers.

3.1.2.2 Equipment

The following equipment is useful in conducting an expert walkthrough analysis:

- camera, with telephoto, wide angle and close-up lenses, color film, and flashgun, and photograph recording forms,
- clipboard, pad of paper, marking crayons,
- measuring magnifier with 0.1 mm scale, string, plumb bob and carpenter level, and
- flashlight, putty knife or heavy duty pocket knife, and hammer.

3.1.2.3 Assessment

A basic structural performance requirement for this level is "visual acceptability" meaning that the appearance of flexural elements is not judged to be objectionable because of excessive deflection. Joints in walls, ceilings and floors must be examined for signs of displacement or deformation.

Another requirement is "comfort acceptability" that is, the lack of excessive vibrations due to normal walking. Walking on floors permits an initial subjective evaluation of comfort acceptability. (See Reference 39, the heel drop test.)

Floor areas used for heavy storage should be assessed carefully. Heavy loads such as file cabinets may require that the average load on the floor be kept to the design value by having wider aisles. Recommended aisle widths for filing cabinets, library bookshelves and other types of storage shelves are provided in Reference 12. To avoid overloading individual joists in open web joist floors, the investigator should verify the aisle widths and confirm that the rows run perpendicular to the joists.

3.1.2.4 Resource Allocation and Timing

Two person-days may be sufficient for inspecting a 10,000 m^2 building, provided no special problems are encountered, and depending on the accessibility of the points of observation. This includes office engineering and support staff time needed for preparation and revision of checklists and questionnaires.

3.1.2.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Clear and complete records should be made during the inspection. All the areas inspected must be identified by indicating floor level and location by means of well defined coordinates or references. All record sheets must be standard and should be initialed by the inspector. In taking photographs, each picture should be referenced to a plan and dated, and a scale by means of a tape measure or other object should be provided.

3.1.3 Occupancy and Use Analysis

This evaluation technique uses records, reports and interviews to correlate the damage observed on the amount of maintenance and repair provided to the building. Questions relevant to the structural performance of the building are presented to the manager and occupants of the building for evidence. This technique is complementary to the "Expert Walkthrough Analysis".

3.1.3.1 Description of Techniques

The building manager, the occupants and – if available – the construction supervisor are interviewed and their answers recorded. A tape recorder may be used if permission is granted.

To assist the investigator, a list of questions is provided in Section 5.5. Additional questions should be asked if necessary.

3.1.3.2 Equipment

A tape recorder may be used.

3.1.3.3 Assessment

The completed forms must be analyzed and related to the results of the Expert Walkthrough Analysis to provide an improved assessment of the structure.

3.1.3.4 Resource Allocation and Timing

Approximately two person–days are required to complete these interviews and document the findings.

3.1.3.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All questionnaires must be retained and their analysis reported.

3.2 STAGE II – SIMPLE MEASUREMENT TECHNIQUES

This evaluation technique uses non–destructive tests to determine the condition of floors and roofs where excessive deflections or annoying vibrations have been found during the "expert walkthrough analysis" and the "occupancy and use analysis" or in response to client or occupant complaints.

To keep costs down, the tests should be done on representative or critical areas. The first set of tests is conducted to measure the amount of deflection. The second set of tests determines whether floor vibrations are excessive.

3.2.1 Deflection and Deformation Measurements

An appraisal of the structural components will detect the presence of deflection, rotation, settlement, lateral displacement, lack–of–plumb, and unevenness of the surface of the structural elements. Actual dimensions and levels of the components of the building are required. Parts of the top and bottom surfaces of floors and roof may have to be removed to obtain this information.

3.2.1.1 Description of Techniques

Vertical displacements can be measured by using a string stretched in the shape of an "X" between the four columns of a bay. A surveying level can provide similar information and also detect any slopes of the floor or ceiling.

In special cases, a more refined measurement of the surface evenness can be obtained with a displacement transducer which is moved along a horizontal guide. A wheel rolling on the floor permits the recording of the floor's profile on a band of paper. The apparatus can be placed in a series of positions to obtain a series of profiles describing the floor surface. Although this apparatus is simple, its use is rarely required. An illustration of the equipment is shown in Figure 3.2.1.

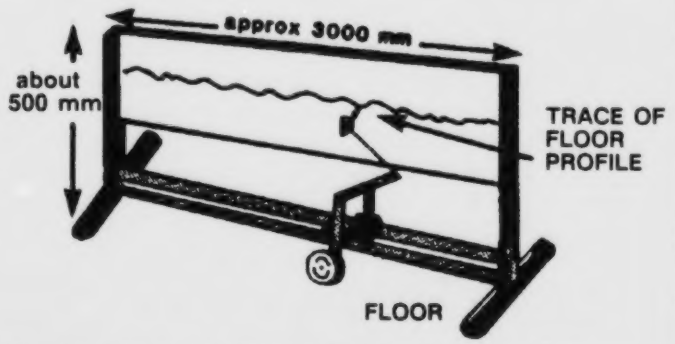


Figure 3.2.1 – Schematic of a device for measuring floor surface profile.

A trace of the floor surface is produced by a mechanical displacement transducer holding to a straight bar.

Rotations of the floor or roof can be determined from the measurements of the deflections, or measured by means of a graded carpenter's level. Lack of verticality shown by furniture placed near wall, are frequently caused by rotations of the floor beam ends.

Deviations from flatness are easily determined by means of a "measuring chair", which can be improvised with a four-wheel swivel office chair (see Figure 3.2.2). The chair is rolled across the floor and a record is made of where the four legs do not simultaneously touch the surface. An experienced engineer should be able to determine whether the test is revealing characteristics of the flooring or conditions of the structure of the floor.

Allowable tolerances for planeness of concrete floors are given in CAN3-A23.1, Clause 22.10

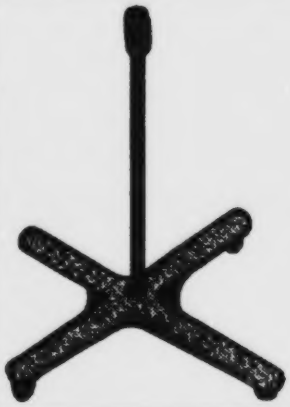


Figure 3.2.2 – Schematic of a "Measuring chair" for floor flatness measurement.

One of the ends of the crossing arms operates a dial measuring the floor deviation from the plane.

3.2.1.2 Equipment

In addition to the equipment listed in Section 3.1.2.2 for the expert walkthrough analysis, the following equipment is also needed:

- surveying level and level rods,
- graded carpenter level,
- four–wheel swivel chair, or "measuring chair",
- scaffold and 2–m ladders.

3.2.1.3 Assessment

Deflection limitations for live loads are given in the CSA (CAN3) standards for concrete structures and for steel structures (see Reference 36 and 37). However, the deflection measured during the survey will be due partially to live loads and to dead loads and, in the case of concrete slabs will include creep deflections. To allow a meaningful comparison, the investigator will have to reduce the deflection limitation to consider that the applied live loads is usually lower than the design live load, the effects of dead load, and – in concrete – of creep. A criteria based on proportionality between deflection and load is acceptable. If upward camber has been required,that must be considered as well.

For members of supporting plastered ceilings or partitions, the most severe deflection requirement, which is 1/480 of the span, may not be sufficient to prevent cracking. However, repairing such cracks may make possible the acceptance of a larger allowable deflection.

The investigator should make sure that the flooring does not conceal a sagging floor structure. If the floor is sagging, a full investigation should proceed.

For the "measuring chair test", 1 mm out of level for any of the four legs is usually considered acceptable uneveness. Rotations at slab edges should not exceed 0.7 degree or a 12/1000 slope ratio measurement, as measured with a graded bubble level.

3.2.1.4 Resource Allocation and Timing

Approximately one week is needed to complete this level of investigation for a typical 10 000 m² building.

3.2.1.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Deflections that exceed acceptable values and other failures such as cracks or stuck doors should be recorded with appropriate sketches, indicating their location. Records and sketches are also required to document rotations and surface unevenness. All records and diagrams should be on standard forms and should be initialed by the inspector.

3.2.2 Excessive Floor Vibration

Long–span, light–weight floor systems or thin concrete slabs not provided with damping elements such as rugs, partitions, or suspended ceilings and ducts, are susceptible to excessive vibrations from nearby foot steps, machinery, buses or trains.

Two types of vibration problems may arise depending on the nature of the source of the exiltation: continuous or steady state vibrations and transient vibrations. Continuous vibration arise due to periodic forces of certain human activities or machinery, which become amplified when they are in resonance with the main slab frequency. Transient vibrations caused by footsteps or other impacts decay at a rate that depends on the available damping.

3.2.2.1 Description of Techniques

The standard heel drop test is used to determine excessive floor vibration (see Reference 37). In this test, a person weighing about 75 kg rocks up on the balls of his feet with his heels about 6 cm off the floor, and then drops his heels onto the floor. The resulting vibration is measured by an accelerometer placed at the centre of the floor. A chart recorder can be used to record the information. A person sitting close to the accelerometer can give a subjective evaluation of the vibration.

As well, floor comfort is checked when different persons walk about. The peak acceleration of the floors vibration can then be compared to the threshold value.

3.2.2.2 Equipment

The following equipment is used in the Stage II Simple Measurement Technique:

- a strip chart recorder,
- a signal conditioner that filters out frequencies greater than approximately 1.5 times the estimated fundamental frequency. In long–span, open–web steel joist floors, this should be less than 20 Hz.
- a tape recorder can be used to record the response signal for later analysis.

3.2.2.3 Assessment

A typical response to the heel drop test is shown in Figure 3.2.3. If the response is plotted in this manner, the acceleration and damping can be obtained.

The values determined from the heel drop test are then plotted on the annoyance threshold graph (shown in Figure 3.2.4) to determine if the floor vibrations are "excessive".

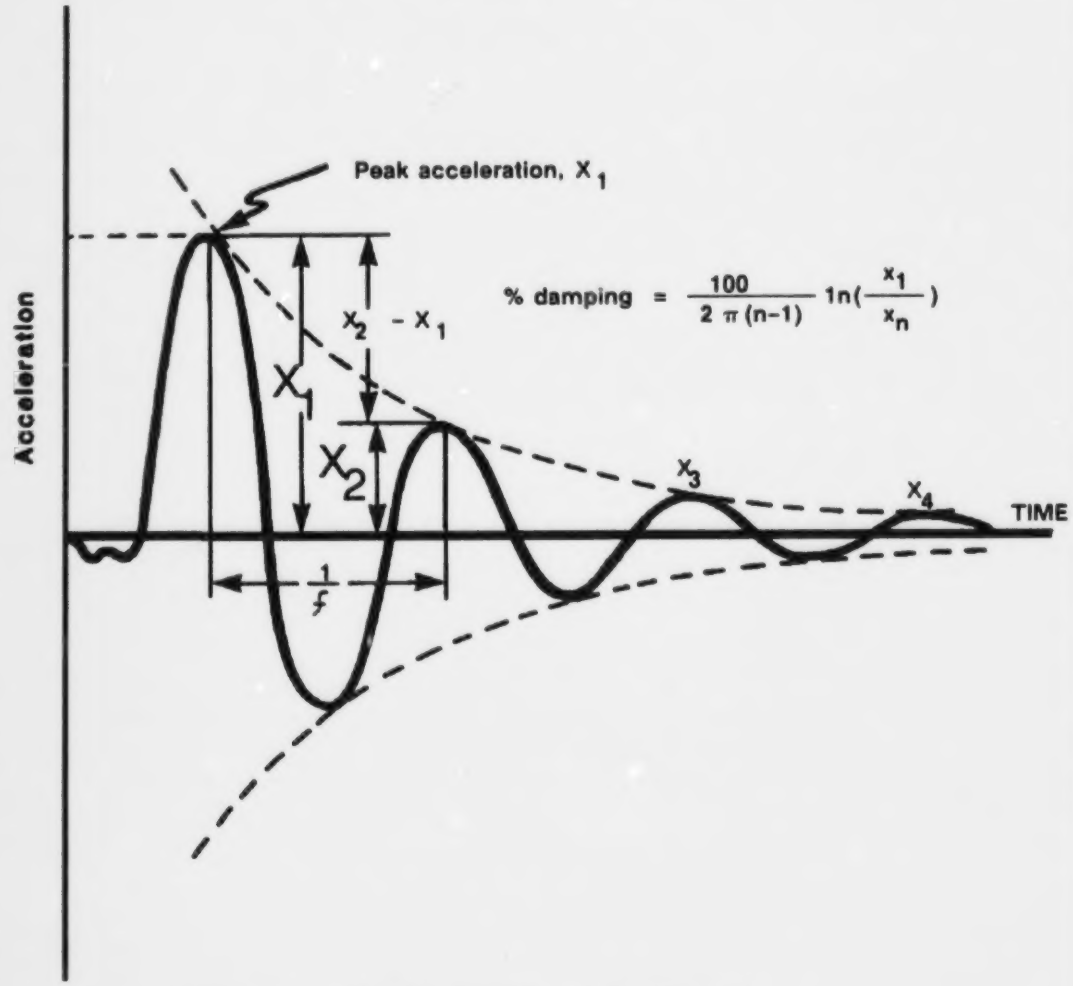


Figure 3.2.3 – Typical response to heel drop test.

Rate of decay of oscillation measured by logarithmic decrement.

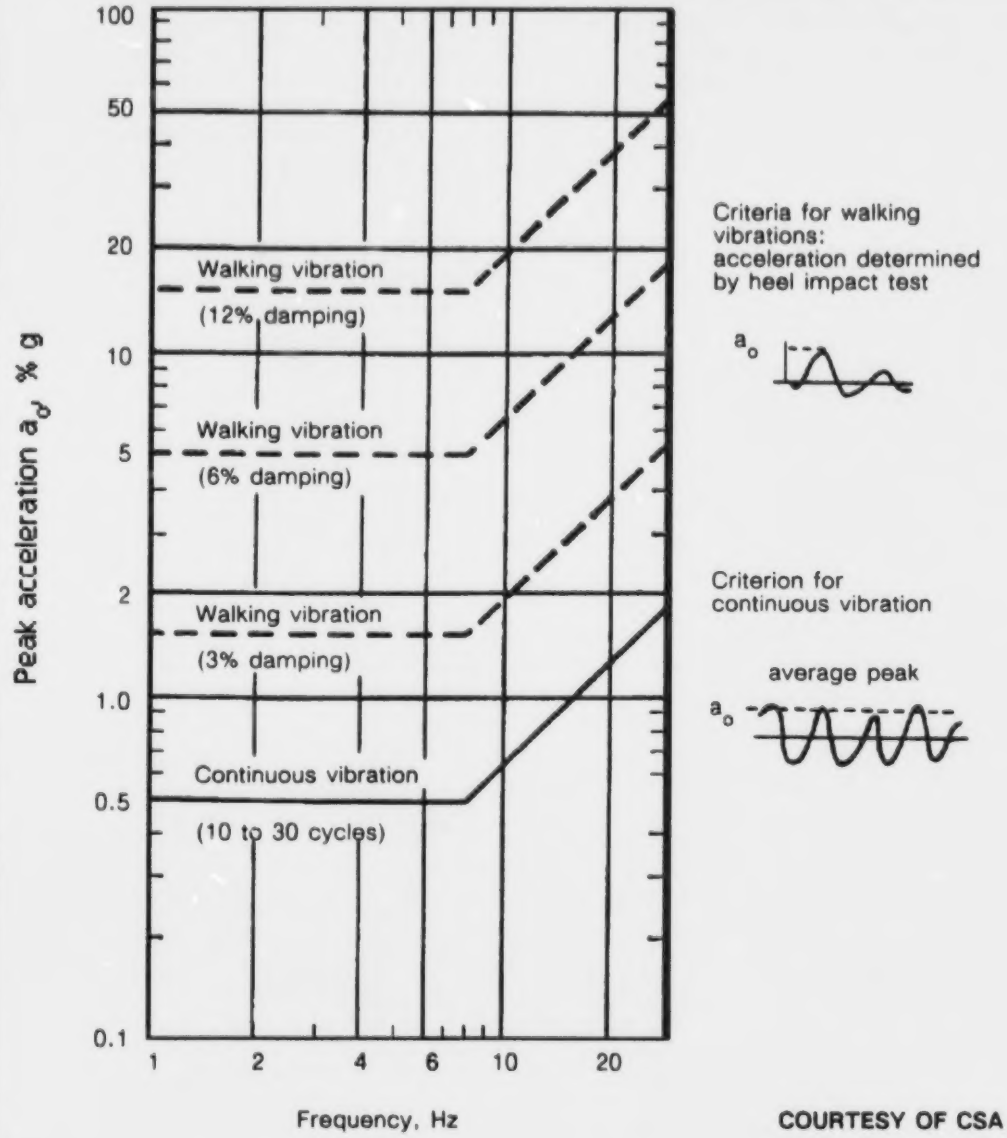


Figure 3.2.4 – Annoyance Criteria for Floor Vibrations

(Residential, School, Office Occupancies)
(CSA Can 3-516.1-M84, Reference 37)

3.2.2.4 Resource Allocation and Timing

Approximately one day is required to calibrate the instruments set up and measure one or two typical bays. Additional time is required to document the findings.

3.2.2.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

The documentation should include the locations of the heel drop test, sketches, description of the floor, and the chart recordings of vibrational characteristics of the floor system.

3.3 STAGE III - SPECIALIZED IN-DEPTH MONITORING

When the severity or the extent of the problem justifies it, tests requiring complex instrumentation can be used. These tests are called complex in the sense that special equipment is required, or that considerable effort and preparation are involved.

When the floors, roof, or any other structural element has been damaged, a special investigation is needed to assess the general stability of the building. The procedure consists of assessing the real strength of the structural materials and the dimensions of the structural elements, and then re-analyzing the structure using these values. If necessary, a full or partial load test of the structure can also be made.

Most of the tests used for measuring the characteristics of the structural elements are non-destructive, but sometimes cores or samples must be taken with some local destruction.

Global tests, such as loading tests, give direct information on the behavior of the structure. They are supplemented by local measurements of the geometry and material properties of the structure, which can be used in the analysis.

Drilling and testing of concrete cores, or cutting and testing of steel coupons are basic tests and are required in all investigative projects. Details of these tests are described in the CSA (CAN3) Standards specified in References 34, 35, 36 and 37.

This section describes some of the more commonly used non-destructive in-situ tests, as well as the global full-load tests. Non-destructive testing methods measure physical properties which correlate with other properties useful for design. Thus their accuracy depends on the validity of that correlation. The most common non-destructive methods include the following:

- resistance strain gauges, used for monitoring load tests,
- the rebound method used to assess uniformity of concrete strength,
- ultrasonic testing (sound propagation), used to assess material homogeneity,
- magnetic field testing (magnetic flux), used to locate steel bars,
- electric field testing sometimes used for rust detection,
- radiographic methods (X-rays, gamma-rays, etc.), used only in special cases, and
- full-scale loading test, which is seldom used.

3.3.1 Strain Gauges

3.3.1.1 Purpose

Strain gauges are used to measure the strains in structural elements when they experience deformation. In existing buildings, either of steel or concrete, strain gauges are useful for monitoring stresses that must be controlled in a load test.

Where extensive strain gauge instrumentation requirements are encountered, it is best to leave the planning, installation and monitoring to specialists experienced in this type of work.

3.3.1.2 Description of Techniques

Certain metallic conductors, when subjected to strain, exhibit a change in electrical resistance. Wire-and-foil-resistance strain gauges make use of this effect to measure strains. A sensing element in the form of a thin wire is cemented directly to the clean surface of the specimen and then forced to follow the strains of the specimen. For the general case of plane stress (free surface), the strains must be measured in at least three directions to find the principal strain magnitudes and directions. Strain rosettes, therefore, commonly consist of three gauges.

When cemented to an already strained member, strain gauges can also be used to measure existing strains. By removing the piece of material that holds the gauge the strain relief can be readily measured. A modification of this procedure, called "blind hole drilling", involves drilling a hole in the steel at the centre of the rosette. This procedure has been used on several projects (see Reference 40) with varying degrees of success. Its disadvantage is that it measures residual strain in addition to that from loads.

When equipped with a Wheatstone bridge circuit, the strain gauge can drive meters, galvanometers, oscillographs, and other instruments. The voltage output is linear with respect to the applied strain for a range of strains given by the gauge.

The steps required in making strain measurements are as follows:

Step One – Preparation of specimen including:

1) preparation of the surface where the gauge is to be attached,
2) removal of all loose material, and
3) sanding and cleaning the surface.

Step Two – Preparation of the testing apparatus, including:

1) bonding the gauge to the specimen,
2) soldering leads to the gauge and strain-relieving the leads,
3) moisture-proof the gauge (covering the gauge with wax, varnish, or other sealant), and
4) calibrating all electronic instruments according to the manufacturer's instructions.

Step Three – Data acquisition can be done manually or readings can be taken automatically at preset time intervals and stored on tape.

Step Four – Test results may have to be corrected for the effects of factors such as temperature dependence, poor bonding, and moisture. Current state–of–the–art equipment allows the investigator to select a gauge which is basically independent of these factors.

3.3.1.3 Equipment

Strain gauges should be selected according to the range of strain, humidity and temperature they are to measure. The number of strain gauges used in a test depends on the extent of the area tested may vary from only two or three to several hundred and must be decided by the investigator. (See Figure 3.3.1.)

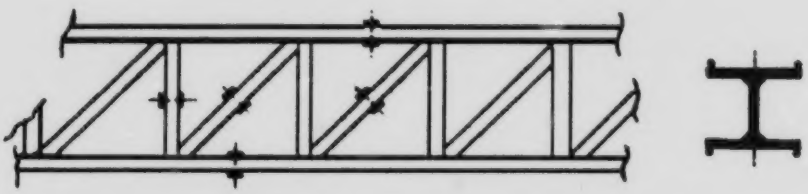


Figure 3.3.1 – Location of strain gauges on steel truss

A great variety of excellent, portable, low–cost strain gauge amplifiers with recorders are available. When large numbers of gauges are used, multi–channel digital strain gauge indicators are preferred. These multi–channel systems can receive and process up to several hundred active strain gauge signals.

Cement and surface preparation accessories are also required.

3.3.1.4 Assessment

Properly selected, strain gauges are not affected by temperature, humidity, fatigue and other conditions and are accurate to within one percent.

These readings provide measurement of the strains resulting from a loading process and allow by means of calculations the evaluation of the strength capacity of the members. The calculation procedure may be simple for a single tension member, but in most cases interpretation of the data is complex, and should be left to an experienced engineer.

3.3.1.5 Resource Allocation and Timing

The gauges required for a load test must be installed by an experienced investigator. Depending on the number of gauges, anywhere from two to five days may be required.

3.3.1.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Automatically recorded documentation is preferable. Plotted curves should be identified with the location, time and date of the test, the names of the investigators, and other relevant information.

3.3.2 Schmidt Rebound Hammer Test

3.3.2.1 Purpose

This is a surface-hardness test that provides approximate values of the strength of concrete based on the correlation between the concrete strength and the rebound of the Schmidt hammer. The test is not accurate enough to provide strength values to determine member capacity, but it is an inexpensive technique for comparing the relative strength of concrete in different areas of the building.

3.3.2.2 Description of Techniques

The hammer is prepared by pressing the plunger gently against the concrete surface. To begin the test, the plunger is pressed strongly against the concrete, which releases the spring-loaded weight from its locked position, causing the impact. The "rebound number" is then read off the scale of the hammer while it is still in its testing position. Several tests are done and the average value is then used to read the concrete strength from the chart. The hammer can be used in a vertical, horizontal or inverted position.

3.3.2.3 Equipment

A Schmidt Rebound Hammer of commercial type.

3.3.2.4 Assessment

The method cannot be used to reliably determine concrete strength unless the hammer is calibrated using cylinders cast and cured under conditions identical to those of the concrete in the structure. On existing buildings, the hammer is usually used to compare the strength of concrete in different parts of the structure and thus determine low strength areas. Putting the rebound values on a drawing of the floor plan helps to identify problem areas.

3.3.2.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Records of test locations and rebound values must be retained.

3.3.3 The CAPO Pull-Out Test

3.3.3.1 Purpose

This test is used for measuring the in-situ compressive stength of dubious or damaged concrete or of newly-cast hardened concrete. The CAPO pull-out test is patented and available in Canada.

3.3.3.2 Description of Techniques

In testing procedure a special tool is used to cut an 18 mm diameter hole perpendicular to the surface of the concrete. The hole is drilled to a depth of 50 mm and at least

20 mm from any reinforcement. Next, this hole is undercut with a diamond miller to a wider, 25 mm diameter hole beginning 25 mm below the concrete surface and extending to a further depth of 10 mm. A covermeter can be used to detect the reinforcement and a grinder to smooth the concrete surface.

An expandable insert is placed into the hole and distended with a special expansion unit. The unit and insert are attached to a pullbolt, which is coupled to a pulling instrument (usually the LOK–test device) with a 55 mm counterpressure ring placed on the testing surface.

The pulling force is applied by turning the handle of the pull–out instrument which causes increasing compression on a small truncated core of concrete. The CAPO strength is the maximum reading during pull–out. Figure 3.3.2 gives the CAPO–test sequence for testing hardened concrete.

After the test, the cone of concrete is removed for inspection. Results from several tests are averaged and the standard deviation calculated. The characteristic pull–out strength is calculated by deducting the standard deviation multiplied by a constant from the mean value. The strength can be used to evaluate whether concrete specifications were met during construction.

3.3.3.3 Equipment

A portable CAPO–test kit (with LOK pull–out instrument and CAPO inserts), an electric drill with 18 mm diameter diamond bit, a diamond miller, a heavy grinder, and a covermeter.

3.3.3.4 Assessment

The failure of the concrete during the CAPO test is caused by crushing of the concrete cone released during pull–out, between the expanded insert and the counterpressure ring. Thus it provides a direct measure of the compressive strength. The CAPO strength correlates well with cylinder compressive strength. Conversion equations for the CAPO strength and the ultimate concrete strength can be found in Reference 28.

3.3.3.5 Resource Allocation and Timing

Since the test itself requires only about fifteen minutes for a person trained in diamond cutting and testing in–situ concrete and because the equipment is portable, up to twenty tests per day can be performed.

3.3.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Records of location and pull–out strength must be retained.

3.3.4 Ultrasonic Pulse Velocity Method

3.3.4.1 Purpose

Two types of instrument, one for concrete or timber and the other for steel, are commercially available for investigating building materials and dimensions of components by using ultrasonic pulses.

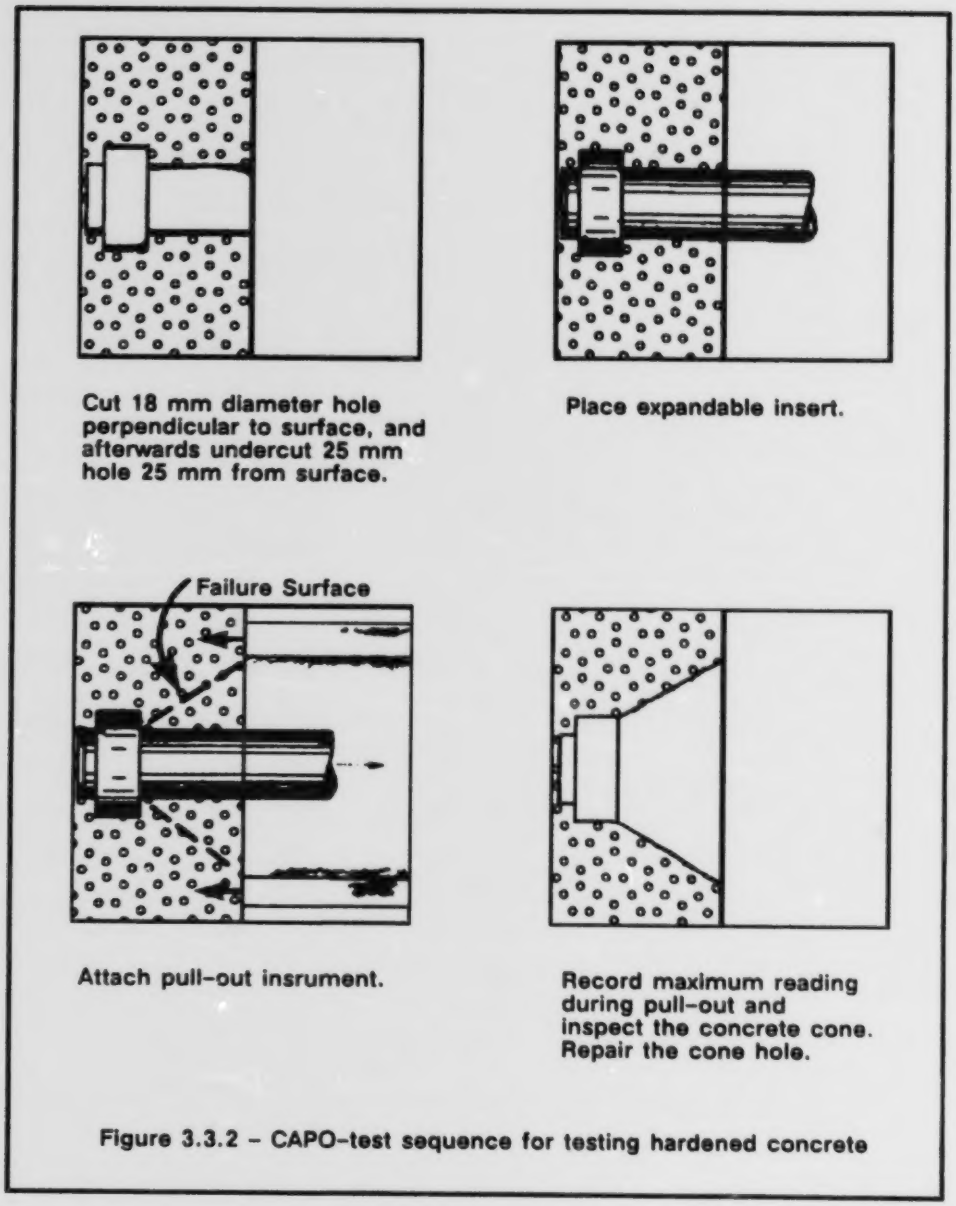

Cut 18 mm diameter hole perpendicular to surface, and afterwards undercut 25 mm hole 25 mm from surface.
Place expandable insert.
Failure Surface
Attach pull-out insrument.
Record maximum reading during pull-out and inspect the concrete cone. Repair the cone hole.

Figure 3.3.2 – CAPO-test sequence for testing hardened concrete

The first type of instrument can be used to determine the homogeneity and the presence of voids, cracks, honeycombs and other imperfections in the concrete. It can also detect changes in the material due to the localized action of fire, frost, or chemical attack, the thickness of slabs and, to a certain extent, the strength quality of the concrete. Rotting, wood degradation, and cavities in lumber can also be investigated and a comparison of material parameters to those of a known specimen can be made.

The second type of instrument is used to measure the thickness of steel, such as the web or flange thickness of wide flange or I sections, the thickness of top and bottom chords of joists, thickness of roof deck, and so on. Some of these measurements, such as web thickness, are usually impossible with regular calipers unless coupons are cut. The ultrasonic method is non-destructive and very accurate.

3.3.4.2 Description of Techniques

The ultrasonic pulse velocity method measures the time for an ultrasonic pulse to pass through a solid. The velocity of the pulse depends on the density and elastic properties of the material. The strength of some materials is related to their elastic stiffness so that measurement of ultrasonic pulse velocity can be used to indicate these properties.

Timber and concrete can be assessed in this way. However, applied to metals, this method is used to measure thickness or in the case of welds, to detect internal flaws which send echoes back in the direction of the incident beam and which are picked up by a receiver-transducer.

3.3.4.3 Equipment

The PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) or equivalent standardized test equipment (See Figure 3.3.3).

Electronic caliper for measuring thickness of steel.

3.3.4.4 Detailed Procedure

The PUNDIT generates an ultrasonic pulse in the transmitting transducer and measures the transmission time taken by the pulse to pass from the transmitter to the receiving transducer. A reference bar, with its pulse time engraved on it, is provided to check the instrument zero. The instrument gives a direct read-out in microseconds for a given path length.

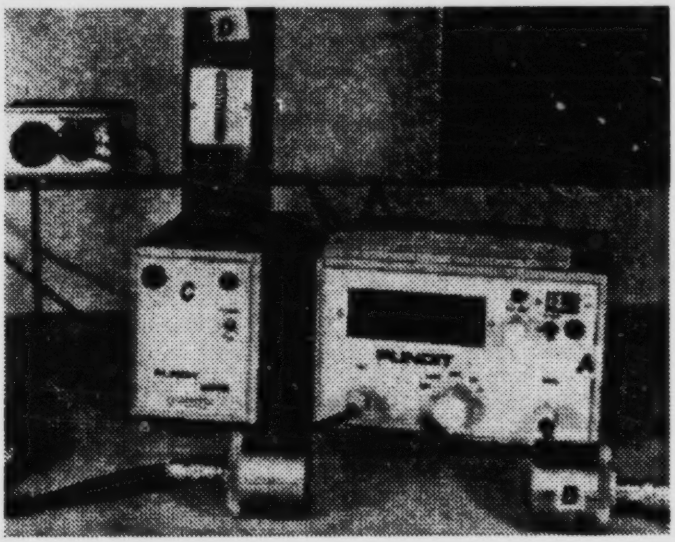
When attempting to measure the properties of concrete, the measurements of pulse velocity are affected by a number of factors including the smoothness of the contact surface under test and the influence of the path length. Other factors include the temperature, moisture and age of the concrete, plus the presence of reinforcing steel.

The electronic caliper also generates an ultrasonic pulse, but its transducer and receiver are in the same piece. The surface of the concrete must be free of rust, but need not be completely smooth. A portable grindstone or emery paper produces a surface that is acceptable. Oil is rubbed onto the surface to ensure good contact. Steel thickness can be measured from 250 down to 25 micrometres, depending on the instrument. The instrument has its own built-in calibration plate.

Although usually used with steel, an electronic caliper can be set to read the thickness of other metals found in older buildings, such as cast iron or copper.

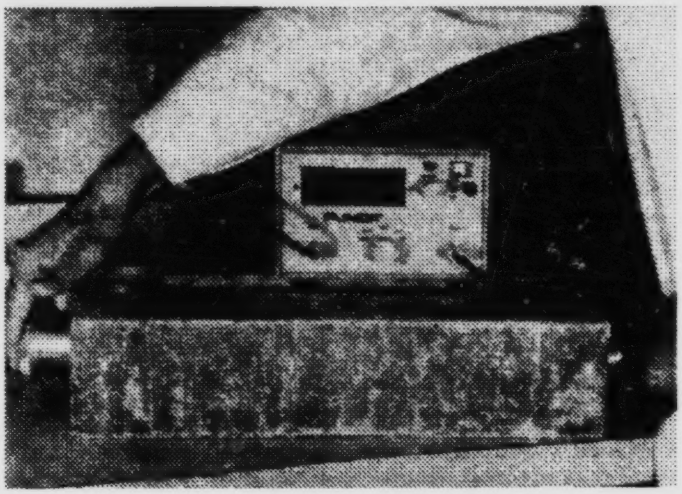
3.3.4.5 Assessment

Ultrasonic pulse velocity techniques provide an excellent means for establishing uniformity of concrete, but strength parameters should not be determined purely by this method.



The PUNDIT and accessories:

A) the PUNDIT
B) transducers
C) mains supply unit
D) reference bar



A 3.5 x 4 x 16-in. (89 x 102 x 406-mm) concrete prism under test.

Figure 3.3.3 - A view of the PUNDIT

(Courtesy Canadian Mines Branch, Ottawa, Canada)

A complete description of the assessment procedure for each of the many applications of the Pundit is provided in the manufacturer's literature and in References 22 and 24. Generally, high pulse velocity readings in concrete are indicative of good quality, but a large number of factors affect the measurements.

3.3.4.6 Resource Allocation and Timing

The Pundit test equipment is relatively inexpensive, portable and easy to use. Possibly two person–days are required for a 10 000 m² building, but an extensive survey may require additional time.

3.3.4.7 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Complete documentation describing the locations of the tests, readings and other field observations are required.

3.3.5 Fibroscope or "Fibreoptic Probe"

This instrument is used to inspect inaccessible places such as expansion joints, bearing pads, and areas behind steel bars. Detailed information on the use of the fibroscope is contained in the companion volume to this report, "Condition Survey – Structural Walls and Columns". (See Reference 10.)

3.3.6 Covermeter or Pacometer

3.3.6.1 Purpose

This device is used to check the depth of the concrete cover to steel reinforcing. It can also be used to avoid cutting the reinforcement when coring through slabs and for locating masonry ties, anchors, and ladder or truss reinforcing in block walls.

3.3.6.2 Description Techniques

This method uses magnetic devices and is based on the principle that the presence of steel affects the field of an electromagnet. The probe consists of a highly permeable U–shaped magnetic core on which two coils are mounted. Electric current passing through one coil induces a measurable current in the other coil, depending upon the material inductance and the nearness of the steel reinforcing bars. Such an instrument provides acceptable results only for lightly reinforced structural members.

3.3.6.3 Equipment

A Covermeter with calibration bar.

3.3.6.4 Detailed Procedure

The accuracy of the instrument must be checked against a known concrete cover of reinforcing steel. To measure the cover thickness, the probe is placed on the surface of the concrete parallel to the direction of the bar and then moved perpendicular to this direction. The instrument gives the cover dimension directly if the bar size is known. When a covermeter is used to locate steel, the calibration check is not necessary. As the probe is being moved perpendicular to the bar, the maximum reading occurs when the probe is directly over the bar.

3.3.6.5 Measurement Limitations

When several steel bars are present, or heavy reinforcement is involved, a satisfactory determination of the cover steel is practically impossible. References 11 and 22 provide more detailed descriptions.

3.3.7 Computer Programs

3.3.7.1 Purpose

Computer analysis of part or whole building may be needed before a final evaluation can be made. If a load test is required, an anaylsis prior to the test is mandatory. An analysis done by computer may be complemented by hand calculations.

3.3.7.2 Available Programs

Some useful computer programs in evaluating existing buildings are:

a) Quick Design Series – First developed at PWC, these programs have been updated and are available at Control Data. Each program in this series does a specific task. For example, one analyzes a frame, another a column, and another a beam. By 1985, only programs for concrete structures are available.

b) ADOSS – Developed by the Portland Cement Association, this program is used for checking the design of a flat slab, flat plate, slab and beam, or waffle slab structure. The program uses the Equivalent Frame Method (Reference 36) and is available at Control Data.

c) AMECO – This program can be used for evaluating complete floors or complete buildings. Versions are available for either steel or concrete through Control Data or Northern Dynamics.

d) RESST Program – Developed by the Canadian Institute of Steel Construction, this program can be used for evaluating various types of steel floor systems. It is available through Control Data.

e) General Finite Element Programs – Programs such as SAP4 and STARDYNE can be used when simple programs cannot be easily applied.

3.3.8 Full-Scale Loading Tests

3.3.8.1 Purpose

Load tests are used to check the strength and deflection of unusual floor systems, such as floors in historical buildings or floor of questionable code compliance. Unusual roof systems can also be tested this way. Loading tests are commonly made up to a level higher than the specified loads to check for an adequate safety margin.

3.3.8.2 Description of Techniques

This technique should be applied only on the recommendation of an engineering study. This engineering study should include a detailed structural analysis in which all relevant deficiencies such as material deterioration, significant cracks, deformations of the structure and actual dimensions are taken into consideration. A computer structural model is extremely useful. The non-destructive tests already described may be used to estimate parameters including the strength and modulus of elasticity of concrete, the actual location of the steel reinforcement, and presence of cracks and timber rotting.

Full-scale load testing consists of instrumenting key points of the structure of the floor or roof using dial and strain gauges. Cracks, joints and narrow openings can be instrumented with tell-tales. Automatic and remote recording of the data is used when the building structure is hazardous or when numerous data acquisition channels are involved. The floor should always be shored underneath, with the shores stopping about 50 mm below the underside of the structural member, depending on the type of structure and floor span.

Details for testing concrete slabs are described in Chapter 10 of CAN3-A23.3-M84. The standard for steel does not give procedures for load tests.

The floor or roof being tested is loaded slowly so as not to produce dynamic response. Strain and deflections are recorded at each load increment and compared against calculated values. The value of the final load depends on the particular case, as described in CAN3-A23.3-M84, which also contains requirements for unloading and creep recovery. In most cases, the maximum deformations reasonably match those predicted through analytical calculations. In other cases the engineer will have to resort to his judgement.

In the case of a flat slab, it is prudent to assume that repairs will be necessary for punching shear. Accordingly, the slab should be supported from beneath and tested only for flexure.

3.3.8.3 Equipment

The required equipment varies, depending on the scale of the load test. For a large area, a contractor will proceed according to specifications issued by the engineer-in-charge.

Construction Equipment

Standard construction equipment, such as scaffolds, ladders, ramps and wheel barrows, are needed to load and unload the ballast. When temporary dikes are built to hold a hydraulic load, 0.15 mm minimum thickness polyethylene sheets supported by temporary wood frames are required, plus a hydraulic pump, valves, hoses and relevant hardware (See Reference 23).

Loading Material

The selection of the loading material depends on availability. Sand bags, gypsum bags, cement bags, concrete blocks and bricks are all suitable. The load must be kept dry to avoid increasing its weight.

Hydraulic loading may consist of containers or temporary dikes which can be filled with pumped water. The main advantage of hydraulic loading is that the load can be increased at any rate and rapidly removed should the structure begin to fail.

Instruments

Strain gauge transducers with a system of multi-channel digital strain gauge indicators may be employed. The strain gauges can be of various types, such as, wire, foil, or rosette. (See Reference 29.) Linear and angular displacement transducers or dial gauges can also be used. Force/pressure load cells may be preferred in some instances. Tell-tales are used for measuring crack movement.

Other instruments that may be required include a data-logger with printer, timers, counters, automatic switches, programmable power supply, and a signal tape recorder.

3.3.8.4 Assessment

The load test is recognized by the CAN3-A23.2-M77 as an acceptable means of evaluating the capacity of questionable structural components in concrete.

The structure is acceptable provided it has adequate strength and creep recovery and, in the case of flexure is serviceable at the specific load level (that is, the deformations due to the load test are within acceptable limits).

3.3.8.5 Resource Allocation and Timing

Because the human and economic resources involved in this type of test are usually significant, a cost estimate must follow the engineering study that preceeds the test. A typical load test of one or two bays of floor slab might take one day to set up the equipment and scaffolding, three days for the test, and another day for unloading and clean-up.

3.3.8.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

A complete report is required. That report should include a thorough description of the preliminary investigation, including the non-desctructive tests, the structural analysis, the engineering design of the load test, scaffold support system, and a thorough description of the load test including photographs, records of the load applied, the sequence of application, the resulting deflections, and the characteristics of the response of the structure.

4. REFERENCES

1. **Model Documents for the Evaluation, Approval, and Inspection of Manufactured Buildings**, NBS Building Science Series 87, US Department of Commerce, NBS, July 1976.

2. **Technology of Building Maintenance**, Ministry of Public Building and Works, Conference Report, Bath University of Technology, London, England, 23 – 24 April, 1968.

3. **Building Defects and Maintenance**, Building Research Establishment, BRE Digest, The Construction Press Ltd., Lancaster, England, 1978.

4. **Building Construction**, Building Research Establishment, BRE Digests, The Construction Press Ltd., Lancaster, England, 1977.

5. **Building Failure**, Building Research Establishment Series, Volume 5, Lancaster, England.

6. **Design Failures in Buildings**, First and Second Series, by Bickerdike, Allen, Rich & Partners for "Building", George Godwin Ltd., London, England, 1971–82.

7. **Construction Inspection Manual**, by Murray A. Slama, Contruction Industry Advancement Fund, Burlingame, California 94010, 1973.

8. Eldridge, H.J., **Common Defects in Buildings**, London, England, 1976.

9. Kavyrchine, M., **Inspection and Monitoring**, Int. Assoc. for Bridge & Structural Engineering Symp., IABSE, Venice, Italy, January 1983.

10. **Condition Survey: Structural Walls and Columns**. Internal Document D30, Building Performance, PWC, 1988.

11. **Condition Survey: Parking Garages**, Internal Document D32, Building Performance, PWC, 1988.

12. **A Survey of Floor Live Loads on Office Buildings**, Adjelian and Associates Inc., Consulting Engineers, PWC contract, December 1982.

13. Brill, M., **Performance Testing for Buildings**, ASCE J Construction Division, Vol. 98, No. CO1, March 1972.

14. Crockett, J.H.A., **Presentation of Structural Failures by Repeated Vibration Loading**, Pentech Press, Plymouth, Devon, England, 1976.

15. Steffens, R.J., **Structural Vibration and Damage**, Building Research Establishment Report, HMSO, London, U.K., 1974.

16. **Structural Engineering Handbook**, edited by E.H. Gaylor and C.N. Gaylor, McGraw–Hill, 1979.

17. Griffins, L.G., **Prevailing Attitudes of A/E's in Performing Inspection Services**, Journal of Professional Issues Eng. Vol. 110, No. 4, October 1984.

18. **Roof Parapet Failure and Roof Load Test – Building No. 18, Springhill Institution, Nova Scotia**, Public Works Canada, Halifax, Nova Scotia, June 1984.

19. Allen, D.E., Rainer, J.H., **Floor Vibration**, Division of Buildign Research, NRC, CBD 173, Ottawa, September 1975.

20. Hsi, G.C., Lew, H.S., Yorkel, F.Y., Somes, N.F., **Field Testing of Conventional Buildings for Static and Dynamic Deflections**, National Bureau of Stand. Special Public. 361, Volume 1, Proc. RILEM–ASTM–CIB Symp., Philadelphia, Penn, 2 – 5 May 1972.

21. Bring, Christer, **Performance Requirements for Floors**, National Bureau of Stand. Special Public. 361, Volume 1, Proc. RILEM–ASTM–CIB Symp., Philadelphia, Penn, 2 – 5 May 1972.

REFERENCES ON INSTRUMENTATION

22. **In–Situ/Nondestructive Testing of CONCRETE**, V.M. Malhotra, Editor, American Concrete Institute, SP–82, Detriot, Michigan, 1984.

23. **Full–Scale Load Testing of Structures**, edited by W.R. Schiever, ASTM STP 702, Philadelphia, Pennsylvania, April 1979.

24. **Pundit Manual for use with the Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicative Testing**, by CNS Instruments Ltd., London, England (no date).

25. **Operating Instructions Pachometer Model C–4949**, James Electronics Inc., Chicago, Ill. 60618 (no date).

26. **Cr21 Micrologger Operator's Manual**, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah (no date).

27. **HP 3582A Spectrum Analyzer**, Hewlett Packard Catalog (no date).

28. Peterson, C.G., **LOK–test and CAPO–test development and their applications**, Technical Note 382, Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 1, Volume 76, May 1984.

29. **Nondestructive Testing**, NASA SP–51113, U.S. Government printing office, Washington, D.C., 1983.

30. Malhotra, V.M., **Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods**, ACI Monograph No. 9, ACI, Detroit, Michigan, 1976.

31. **State–of–the–Art of Structural Test Methods for Walls, Floors, Roofs and Complete Buildings**, NBS Building Science Series, No. 58, US Department of Commerce, National Bureau of Standards, November 1974.

REFERENCES ON REGULATIONS

32. **National Building Code of Canada**, Ottawa, 1985.

33. **Supplement of the National Building Code of Canada**, Ottawa, 1985.

34. CAN3-A23.1-1M77, **Concrete Materials and Methods of Concrete Construction**.

35. CAN3-A23.2-M77, **Methods of Test for Concrete.**

36. CAN-A23.3-M84, **Design of Concrete Structures for Buildings.**

37. CAN3-S16.1-M84, **Steel Structures for Buildings** and its Appendix G, **Guide for Floor Vibrations.**

38. CAN3-086-M84, **Engineering Design in Wood.**

39. **Historical Record Dimensions and Properties, Rolled Shapes of Steel and Wrought Iron Beams and Columns, 1873 to 1952**, American Institute of Steel Construction, New York, NY, 1981.

OTHER REFERENCES

40. Jamieson, D.M., Calder, D.G., **The Recovery and Repair of the Second Narrows Railway Bridge**, by Canadian Struct. Eng. Conf., 1982.

41. **Metric Design Manual - Precast and Prestressed Concrete**, Canadian Prestressed Concrete and Housing Corporation, NHA S 450, Ottawa, Ontario, December 1982.

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

This section is not applicable.

5.2 GOVERNING AUTHORITIES AND REGULATIONS

All federal government buildings in Canada are required to meet the National Building code (NBC) regulations of the year of construction.

The NBC references additional standards dealing with concrete, steel and wooden structures. Among these, the CSA standards on steel, concrete and wooden structural components are of particular importance. In the absence of a Canadian standard, the ASTM recommendations for testing building materials should be consulted.

5.3 CHECKLIST FOR PLAN AND ARCHIVE ANALYSIS

SUMMARY OF INFORMATION ON PLANS AND SPECIFICATIONS

Building Identification

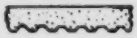
Name and Address_____
Occupancy (office, storage, laboratory, other)_____
Date of construction_____
Date of renovation or alterations_____
Date of last revision on plans_____
Type of structure (structural steel, flat plate, framed masonry, prestressed concrete, other)_____
Number of stories and general approximate dimensions_____
_____
_____
Analysis by_____ Date_____

Floors, Roof Decks and Beams (see Figures 5.3.1 and 5.3.2).
(Put a check-mark beside the most appropriate description.)

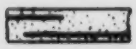
_____ Steel deck, concrete fill, hung ceiling or sprayed fiber.
_____ Concrete slab on steel deck. Concrete covered steel beam.
_____ Reinforced concrete slab. Reinforced concrete beam.
_____ Steel open-web joists, enclosed between deck and ceiling.
_____ Wood joist. Solid beam or glue-laminated.
_____ Precast cellular concrete slab. Precast concrete beam.
_____ Steel section beam.

Steel deck, concrete fill, hung ceiling of lath and plaster

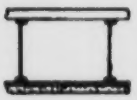
Steel deck, concrete fill, sprayed fiber on underside of deck



Concrete slab on steel deck, composite action, negative reinforcing in concrete

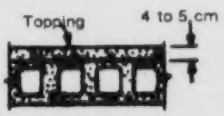


Reinforced-concrete slab



Steel open-web joists, enclosed between deck and ceiling

Wood joists enclosed between deck and ceiling



Precast cellular concrete slab

Figure 5.3.1 – Typical Construction Elements – Floor and Roof Decks

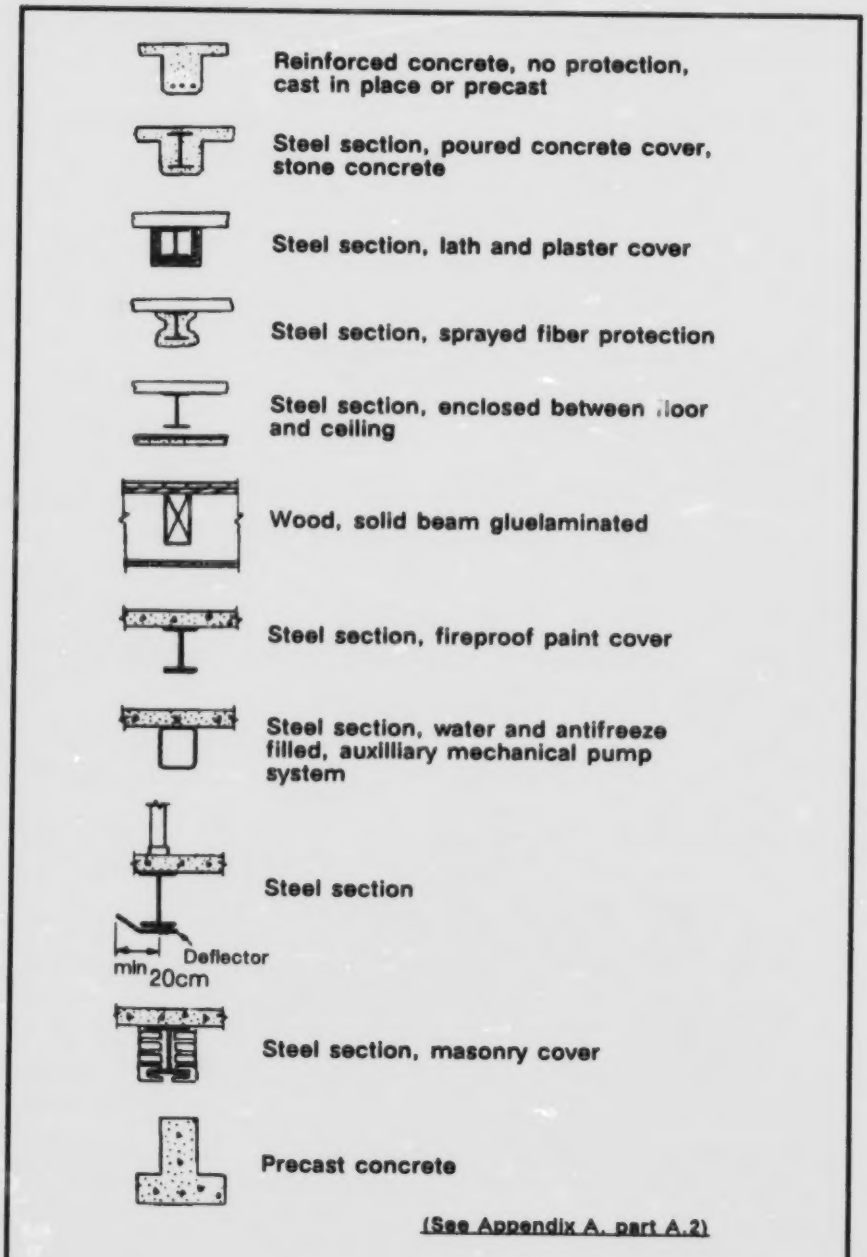

Reinforced concrete, no protection, cast in place or precast
Steel section, poured concrete cover, stone concrete
Steel section, lath and plaster cover
Steel section, sprayed fiber protection
Steel section, enclosed between floor and ceiling
Wood, solid beam gluelaminated
Steel section, fireproof paint cover
Steel section, water and antifreeze filled, auxilliary mechanical pump system
Steel section
Deflector
min 20cm
Steel section, masonry cover
Precast concrete
(See Appendix A, part A.2)

Figure 5.3.2 - Typical Construction Elements - Beams

Design Data
(Provide drawings or Steel deck, concrete fill, hung ceiling or sprayed fiber.

_____ Plan of typical floor with grid lines and dimensions at all levels of importance.
_____ Expansion joint locations and details (seismic and thermal).
_____ Typical section through building.
_____ Walls and partitions that interact structurally with the floor or roof deck.
_____ Actual spans from the given dimensions and allowable spans from the code.
_____ Material description and class for structural components (concrete, grade A, B, C, D timber, steel reinforcing, etc.).
_____ Bearing and lateral supports of joists, rafters, beams and girders.

Sketch of Floors, Roofs and Beams

(Use scale drawings with clear identification coordinates and sufficient notes, explanations and commentaries. Use as many pages as necessary.)

Assessment

(List items and situations where code compliance is questionable.)

5.4 CHECKLIST FOR EXPERT WALKTHROUGH

VISUAL INSPECTION OF FLOORS AND ROOFS

The investigator is encouraged to expand this general checklist to include special conditions.

Building Identification

Name and Address _____
_____
_____
Building Manager _____ Telephone No. _____

Description of the Building

Occupancy (office, storage, laboratory) _____
_____
Date of Construction _____
Type of structure (flat slab, prestressed, structural steel with joists, other) _____
_____
_____

Summary of renovations, alterations or repairs

_____
_____
_____
_____

Inspected by _____ Date _____

Summary Evaluation

(This part is to be filled in after completion of the rest of the checklist. In rating, use terms such as: very poor/poor/fair/good/very good/not applicable/not accessible.)

Members/parts	Visual Rating			
	Topside	Underside	Supports	Overall
Roof Deck				
Joists				
Floor/slabs				
Expansion Joints				
Beams and girders				
Rafters				
Others				
Overall rating for floor/roof/beams				

General Condition

Comments on dampness, sagging, corrosion, unevenness, and serious structural problems

_____
_____
_____
_____
_____

Rating and Evaluation of Flexural Elements

Rate with terms such as none/few/many/numerous/unacceptable/acceptable.

Floor Level _____ or Roof (circle one)

- Accessibility for inspection _____

- Span to depth ratio of: beams _____; one way slabs _____; two-way slabs _____

- Visual acceptability _____

(sagging, excessive deflection, dampness, corrosion, unevenness, edge rotations, cracking, pounding of roof, serious structure problems)

- Comfort acceptability _____

walking comfort, stress, anxiety (floors and some roofs) floor vibration (informal heel drop test)

floor damping available (ceiling, hanging ducts, rugs or other flooring, furniture, partitions) squeaky floors and roofs

undulations of floor surface

sagging effects: stuck doors, cracked walls and plasters

- Material deterioration _____

corroded reinforcement, spalling concrete, loose materials, symptoms of chemical attack, flaking paint, dampness, wet spots, ceilings, efflorescence, waterproofing, roof covering, rotting, bad smell

- Visible poor construction

concrete honeycombs, poor formwork, exposed reinforced bars, patches, visible repairs, unfinished structural elements

- Evidence of structural overload

sagging associated with excessive load: shelves, racks with books, heavy equipment, file cabinets, cracks on ceilings, walls and near windows and door.

- Other elements

expansion joints: leakage, crushing, debris movement, accommodation effect of partition walls on floor drains.

Steel Joist Structures

- Deck profile_____
- Size of top and bottom chords; hot or cold rolled; panel point spacing _____
- Size and location of first and second web members from end _____ _____
- Joist tag (to determine joist manufacturer; see joist catalogues) _____ _____
- Possible location for first coupons (ceiling extensions of the bottom chord) _____
- Top chord bracing_____

Changes since Construction of the Building

- Non mechanical equipment _____
- New partitions, floors or ceilings_____
- New roofing (re-roofing, on top of existing one, depth of gravel, etc.) _____

5.5 SUGGESTED QUESTIONS FOR FOCUSED INTERVIEWS

The following questions should be asked and the answers should be recorded. This question list may have to be expanded to include special conditions. (An excellent source of questions can be found in Reference 7.)

1. Name and address of the structure _____ _____
2. Interview date, time and place _____ _____
3. Investigator's name and address/telephone _____ _____
4. Respondent's name, and occupation _____ _____
5. Dates of renovations or alterations (comment)_____ _____

Questions if the interviewee was at the site during construction

- labour problems at the site?
- how many masons?
- weather protection provided for concrete and workers during construction? (air heaters, blankets, enclosures, heating of masonry units, sand, water)
- use of concrete admixtures? (type, brand name)

- use of sodium chloride or calcium chloride?
- slabs and concrete elements covered every night?
- formwork properly sealed, oiled, or wetted?
- reused formwork, reconditioned and treated?
- expansion and construction joints provided?
- forms in alignment? at top of walls?
- form removal, not too early?
- beam and slab reinforcement bars spliced near supports for bottom steel and midspan for top steel?
- well tied bars during concrete pourings?
- poor bar cover that might allow rust?
- proper space allowed for vibrators?
- placing tolerances of reinforcements, laps, were they inspected?
- was air entrapment prevented when pouring concrete?
- sequence of concrete delivery as scheduled?
- concrete allowed to settle before placing other concrete above it?
- curing and finishing as specified?
- joint caulking, sealing and painting performed under specified conditions?
- no member intentionally deformed to make it fit?
- all bolts properly installed?
- weather: hot, warm, good, cool, cold, freezing?
- rain? how many days?
- was inspector present? how often?
- were test specimens ever taken?
- were any changes made in construction from plans or specifications?
- additional water mixed with concrete just before pour?
- extended or overnight interruptions in concrete pours?
- what provisions were made to locate the pour break in a safe place?
- how was good bond between old and new concrete achieved?
- use of dirty, oily, greasy, rusty or muddy reinforcing bars?
- collected rainwater, snow, ice, leaves, debris in forms when concrete was poured?
- methods used to hold reinforcing bars and wire mesh in place while concrete was poured?
- qualifications of welders on the site?
- weather and temperatures during field welding?
- any damage to rust-protection (galvanizing, paint, primer, other coatings) on structural steel or cold-rolled and sheet steel?
- was steel stored safely away from vehicles and materials that could twist, deform or impact it?

If available, request minutes of job site meetings and copies of structural review reports.

Questions if the interviewee is an occupant

- did you see repairs being done? cracks patched?
- wet spots? dampness? water condensation? cold slabs or beams?

- does water collect at, or wheeled vehicles roll to, any points on the floors or roof?
- has the building suffered impact, or overloaded vehicles, or fire or explosion, during its lifetime? do any windows or door jam or crack? Does this happen more often in one season, or under some weather or temperature conditions?
- are any cracks in walls floors or ceiling growing?
- weather and temperatures during field welding?
- any damage to rust–protection (galvanizing, paint, primer, other coatings) on structural steel or cold–rolled and sheet steel?
- was steel stored safely away from vehicles and materials that could twist, deform or impact it?

Ask the occupant about structural problems and help the occupant to formulate his/her concerns. These key words may help in phrasing questions: load, wind, snow, rain, cold, instrusion, strength, position, vertical, lateral, diagonal, plane, compression, elongation, deflection, twisting, warping, water permeability, water tightness, fire resistance, effects of fire, vibration, cracks, fissures, mortar, plaster, blocks, corrosion, delamination, spalling, disaggregation.

Questions regarding floor and roofs

- ask about deflections, sagging, vibrations, water penetration.
- ask about visible defects like cracks, deformations, dampness, lack of evenness, ceiling damage.
- ask occupant about any defects they may remember.

5.6 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Dalles et toîts structuraux: relevé de la condition

Document D31

Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Dalles et toîts structuraux: relevé de la condition

Document D31

SAG 1-4:86-40

mars 1988

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisabilité, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, les employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

Publiés par les Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document DALLES ET TOITS STRUCTURAUX: RELEVÉ DE LA CONDITION	2. Numéro de contrôle AES/SAG 1-4:86-40
	3. Date Mars 1988
4. Auteur(s) C. Patrickson, Division du génie civil Travaux pulics Canada	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D31
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-456, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone: (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 38
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédérale Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Ce document définit les méthodes d'essais et d'analyse pour la condition de dalles et toits structuraux. Il fournit une série d'essais pour juger de la conformité avec les codes de la construction; inspecter les membres structuraux pour prévenir le vieillissement et la détérioration; s'assurer du rendement continuel lors de surcharge structurale et de changements dans l'usage du bâtiment. Les essais évoluent à partir d'observation sans équipement jusqu'à un monitorage complexe. Des méthodes sont analysées pour la recherche archivale, l'observation des lieux, et l'analyse de l'utilisation des lieux par la densité d'occupation. De simples listes de vérification et questions sont suggérées. Les techniques simples s'appliquent au mesurage de la déflection, de la déformation, et de la vibration du plancher. Les essais plus complexes impliquent l'usage du pachomètre, des extensomètres, du scléromètre, et du fibroscope, les essais d'arrachement et de vitesse des impulsions ultrasoniques présente également un certain degré de complexité. Une liste de logiciels reliés aux matériaux et à l'analyse structurale, ainsi qu'une description de la procédure pour des essais de charge en vraie grandeur sont également fournies. Une vaste liste de références est présentée à la fin de ce document pour faciliter toute étude supplémentaire.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D31	21. Prix

DPW 2398 (86/09)

TABLE DES MATIÈRES

	PRÉFACE	*vii*
1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	But et objectifs	*1*
1.2	Information de base	1
2.	**DÉLIMITATION DU SUJET**	2
2.1	Cadre général	2
2.2	Limite des techniques d'évaluation	2
3.	**MÉTHODOLOGIE**	3
3.1	Étape I	3
3.1.1	Analyse des plans et des archives	3
3.1.1.1	Description des techniques	3
3.1.1.2	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	4
3.1.2	Analyse des lieux par des experts	4
3.1.2.1	Description des techniques	4
3.1.2.2	Équipement	4
3.1.2.3	Évaluation	5
3.1.2.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	5
3.1.2.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	6
3.1.3	Analyse de l'usage et de l'occupation	6
3.1.3.1	Description des techniques	6
3.1.3.2	Équipement	6
3.1.3.3	Évaluation	6
3.1.3.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	6
3.1.3.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	6
3.2	Étape II – Techniques simples de mesure	6
3.2.1	Mesure des flèches et des déformations	7
3.2.1.1	Description des techniques	7
3.2.1.2	Équipement	8
3.2.1.3	Évaluation	8
3.2.1.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	9
3.2.1.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	9

3.2.2	Vibrations excessives des planchers	9
3.2.2.1	Description des techniques	9
3.2.2.2	Équipement	10
3.2.2.3	Évaluation	10
3.2.2.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	10
3.2.2.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	10
3.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	10
3.3.1	Extensomètres ou jauges de déformations	13
3.3.1.1	Objectif	13
3.3.1.2	Description des techniques	13
3.3.1.3	Équipement	14
3.3.1.4	Évaluation	15
3.3.1.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	15
3.3.1.6	Documentation: établissement et classement des documents de travail	15
3.3.2	Essai au scléromètre (Marteau Schmidt)	15
3.3.2.1	Objectif	15
3.3.2.2	Description des techniques	15
3.3.2.3	Équipement	16
3.3.2.4	Évaluation	16
3.3.2.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	16
3.3.3	Essai d'arrachement CAPO	16
3.3.3.1	Objectif	16
3.3.3.2	Description des techniques	16
3.3.3.3	Équipement	18
3.3.3.4	Évaluation	18
3.3.3.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	18
3.3.3.6	Documentation: établissement et classement des documents de travail	18
3.3.4	Méthode de la vitesse des impulsions ultrasoniques	18
3.3.4.1	Objectif	18
3.3.4.2	Description des techniques	19
3.3.4.3	Équipement	19
3.3.4.4	Démarche détaillée	19
3.3.4.5	Évaluation	19
3.3.4.6	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	21
3.3.4.7	Documentation: établissement et classement des documents de travail	21
3.3.5	Fibroscope	21

3.3.6	Pachomètre	21
3.3.6.1	Objectif	21
3.3.6.2	Description des techniques	21
3.3.6.3	Équipement	21
3.3.6.4	Démarche détaillée	21
3.3.6.5	Limites des techniques de mesure	22
3.3.7	Programmes informatiques	22
3.3.7.1	Objectif	22
3.3.7.2	Programmes disponibles	22
3.3.8	Essais de charge en vraie grandeur	22
3.3.8.1	Objectif	22
3.3.8.2	Description des techniques	23
3.3.8.3	Équipement	23
3.3.8.4	Évaluation	24
3.3.8.5	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	24
3.3.8.6	Documentation: établissement et classement des documents de travail	25
4.	**RÉFÉRENCES**	26
5.	**ANNEXES**	29
5.1	Termes et unités standards de mesure – sans objet	
5.2	Autorités compétentes et réglementation applicable	29
5.3	Liste de vérification pour l'analyse des plans et archives	29
5.4	Liste de vérification pour l'analyse des lieux par des experts	32
5.5	Questions suggérées pour les entrevues centrées	35
5.6	Liste de documents évaluant le rendement des immeubles	37

LISTE DES FIGURES

3.1.1	Fissures importantes dans une cloison de maçonnerie supportée par une poutre ou dalle fléchie	5
3.2.1	Appareil permettant de mesurer le profil d'un plancher	7
3.2.2	"Chaise de mesure" pour déterminer la planéité d'un plancher	8
3.2.3	Réponse type à l'essai de choc des talons	11
3.2.4	Seuils d'inconvénience correspondant aux vibrations du plancher dues aux pas	12
3.3.1	Emplacement des jauges de déformations sur une poutre ferme d'acier	15
3.3.2	Mode opératoire de l'essai CAPO pour mesurer le béton durci	17
3.3.3	Photos du PUNDIT	20
5.3.1	Éléments de construction type pour les planchers et les toits	30
5.3.2	Éléments de construction type pour les poutres	31

PRÉFACE

Une bonne connaissance de l'état de la structure est nécessaire lorsqu'il faut apporter des modifications à un bâtiment pour l'adapter à un nouvel usage. Cette connaissance est également requise lorsque, en raison du vieillissement ou de la détérioration, la capacité de la structure existante à soutenir des charges doit être vérifiée ou lorsque des travaux de réparation doivent être planifiés ou évalués.

Pour évaluer le rendement structural d'un bâtiment, il faut recueillir de l'information sur sa structure et sur les causes de sa détérioration. L'objectif du présent document est d'aider l'ingénieur à évaluer l'état des éléments travaillant en flexion: toits, planchers, dalles et poutres. Une série de techniques d'inspection et d'analyse y sont présentées afin de faciliter les processus d'évaluation. Un certain temps d'exécution a été prévu pour chaque technique mais on ne peut vraiment planifier les ressources qu'une fois les caractéristiques du bâtiment précisément définies.

Le présent rapport fait partie d'une série traitant de l'évaluation de l'état des bâtiments détériorés. Les deux autres rapports portent sur les murs et poteaux et sur les garages de stationnement.

1. INTRODUCTION

1.1 BUT ET OBJECTIFS

Le présent document décrit les trois phases d'évaluation de l'état des éléments de construction travaillant en flexion. Ces éléments comprennent les planchers, les toits et les poutres. Ces phases, par ordre croissant de complexité, sont les suivantes:

Étape I – Évaluation préliminaire (Introduction)
Étape II– Techniques simples de mesure
Étape III – Monitorage détaillé et specialisé

L'inspection devrait être faite par un ingénieur en structure ou par quelqu'un travaillant sous sa supervision. Des listes de vérification pour les trois phases de l'évaluation sont fournies en annexe. Les inspecteurs devraient se munir de ces listes en effectuant une évaluation pour s'assurer que tous les points ont été couverts.

1.2 INFORMATIONS DE BASE

La détérioration des éléments travaillant en flexion se manifeste généralement par des flèches excessives, des inclinaisons, de fortes déformations, des vibrations, la dégradation des matériaux, la corrosion, l'éclatement du béton, la fissuration, l'humidité et la détérioration générale.

L'évaluation des éléments travaillant en flexion est nécessaire pour s'assurer de leur conformité au Code national du bâtiment ou pour d'autres raisons comme les suivantes:

Détérioration des éléments structuraux – les effets thermiques, le fluage et le retrait peuvent produire des fissures excessives dans le béton. L'humidité et les produits chimiques peuvent causer la corrosion, le pourrissement et la détérioration des matériaux. Des flèches excessives peuvent causer des problèmes secondaires tels que le bri des carreaux, des portes difficiles à ouvrir, la détérioration des membranes d'étanchéité et des dommages au pare–air vapeur.

Éléments structuraux de qualité inférieure – une évaluation structurale complète peut être nécessaire pour déterminer la tenue en service des éléments structuraux de qualité inconnue ou douteuse. Les coffrages pour béton de mauvaise qualité, les nids de gravier dans le béton, les barres d'armature mal placées, les soudures mal exécutées, les poutres inclinées, et les éléments structuraux mal alignés sont des exemples d'ouvrages de qualité inférieure.

Changement dans l'usage du bâtiment – la transformation, la rénovation ou la modification d'un bâtiment peut causer des charges accrues sur les planchers et toits.

Preuve de tenue en service – lorsque des changements importants à la structure ont été apportés, il peut être nécessaire de démontrer que leur tenue est adéquate.

Surcharges structurales accidentelles ou intentionnelles – des chocs, incendies ou surcharges extrêmes de courte durée peuvent rendre nécessaire une évaluation des caractéristiques de la structure.

2. DÉLIMITATION DU SUJET

2.1 CADRE GÉNÉRAL

Bien que les constructions soient de plus en plus sûres, on dénote encore des défaillances. Elles sont généralement dues à l'erreur humaine, à un manque de connaissances ou à une surveillance inadéquate pendant la construction. L'évaluation de la structure du bâtiment à l'aide des normes et codes constitue un bon moyen d'identifier la plupart de ces problèmes.

2.2 LIMITES DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION

Le rendement structural des éléments travaillant en flexion peut être évalué en observant leurs flèches, fissures, fuites et tendances à la vibration. Puisque les planchers et toits sont généralement recouverts d'un revêtement, l'inspection nécessite parfois l'enlèvement d'une partie de ceux-ci. Certains modes opératoires, tels que l'essai d'arrachement CAPO causent des dommages mineurs qui peuvent nécessiter un rapiéçage une fois l'évaluation terminée.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ÉTAPE I

3.1.1 Analyse des plans et des archives

3.1.1.1 Description des techniques

La première phase de l'évaluation des bâtiments existants consiste à examiner les plans, cahiers des charges et autres documents, y compris les rapports sur les sols et fondations. Si la chose est possible, il est préférable d'utiliser les dessins tels que construits. Les rapports sur les évaluations et réparations antérieures sont également utiles. Il faut tirer des plans et du cahier des charges les renseignements suivants:

a) la date de construction,
b) le code du bâtiment alors en vigueur,
c) les charges de calcul,
d) les propriétés des matériaux des éléments structuraux, et
e) l'année de publication des normes sur les matériaux et du Code du bâtiment utilisés.

Les changements au Code du bâtiment peuvent créer des problèmes de conformité pour les bâtiments plus vieux. Par exemple, les dispositions relatives à l'accumulation de neige sur les toits n'ont été incorporées au Code national du bâtiment qu'en 1960. Par conséquent, les joints et poutres de certains bâtiments construits avant 1960 dans des régions de fort enneigement peuvent être surchargés si l'on en juge d'après le code actuellement en vigueur. Certains autres changements au code sont énumérés ci–dessous.

CHANGEMENTS AU CODE NATIONAL DU BTIMENT

1953 Incorporation de pourcentages minimaux d'armature pour les dalles.

1960 Incorporation de dispositions sur l'accumulation de neige.

1960 Imposition d'une armature de cisaillement minimal pour les poutres.

1965 Introduction du concept de transfert des moments déséquilibrés aux joints dalle–poteau.

1965 Connecteurs de cisaillement exigés dans les constructions composites. Auparavant, il suffisait de couler la dalle de béton sur la poutre non peinturée.

1974 Les solives en acier ajourées sont strictement interdites dans les ossatures "semi–rigides" (voir l'alinéa 8.3.2b) de la référence 37).

Il faut examiner les plans et dessins pour déceler les changements apportés au bâtiment. L'usage du bâtiment prévu à l'origine doit être clairement déterminé et comparé à son usage actuel. Il est possible que la conception initiale n'ait pas tenu compte de certains

facteurs tels que les charges non prévues initialement, de fortes variations de température, la présence de produits chimiques et une humidité excessive.

Tous les facteurs pouvant avoir un effet sur la structure doivent être analysés, y compris toute modification à la protection des éléments structuraux contre les agents détériorants tels que le feu, la pluie, la neige, le vent et les orages. Il faut également déterminer si les matériaux structuraux conviennent au type d'environnement et d'usage. La conception du contreventement, des raidisseurs, des joints de dilatation et des assemblages ainsi que les effets des installations de plomberie, de CVCA, des ascenseurs et les autres services du bâtiment doivent également être analysés.

L'évaluation est encore plus efficace lorsque la liste de vérification de la section 5.3 portant sur les planchers et les toits est utilisée.

3.1.1.2 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

En supposant que les renseignements nécessaires sont facilement disponibles et selon les dimensions et la complexité du bâtiment, une évaluation à l'étape I ne devrait pas prendre plus de quelques jours.

3.1.2 Analyse des lieux par des experts

3.1.2.1 Description des techniques

Cette phase est destinée à obtenir une évaluation globale de l'état de la structure des planchers et des toits à partir d'une inspection à l'oeil nu. Cette technique est simple et ne demande pas beaucoup de temps.

La compétence technique de l'inspecteur est importante. Il devrait avoir une excellente compréhension des codes, de l'esprit et de la signification de leurs exigences et des symptômes qui révèlent l'état des éléments structuraux.

La liste de vérification pour l'évaluation de l'état des planchers et du toit d'un bâtiment est fournie à la section 5.4. L'inspecteur devrait aussi prendre des photographies des éléments détériorés et des zones douteuses.

L'inspecteur devrait être à l'affût des flèches excessives (causées, par exemple, par une forte accumulation de dossiers ou de livres), des inégalités dans le plancher, des rotations apparentes des bords porteurs des éléments travaillant en flexion, des fissures (en particulier près des murs ou cloisons — voir la figure 3.1.1), de l'humidité, des taches, de l'écaillage, de la détérioration des matériaux (en particulier sur les bords), et des vibrations excessives qui peuvent causer du stress ou de l'inconfort. Il faut analyser à fond ces symptômes pour connaître leurs implications possibles sur le plan de la structure. Par exemple, de simples taches peuvent mener à la découverte d'une source d'humidité qui cause la corrosion de l'acier. Pour ce qui est des toits, l'inspecteur devrait vérifier s'il n'y a pas des flaques d'eau et dans quel état sont les avaloirs et les gouttières.

3.1.2.2 Équipement

Le matériel suivant est utile pour mener à bien l'inspection par des experts:

- un appareil photo avec téléobjectif, objectif grand angulaire et bonnette d'approche, pellicule couleur, lampe-éclair et formules d'enregistrement des photographies,

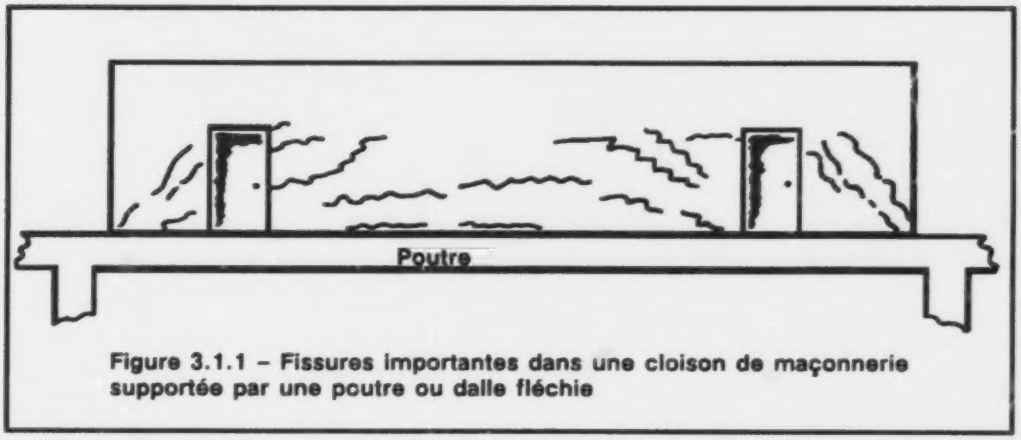


Figure 3.1.1 – Fissures importantes dans une cloison de maçonnerie supportée par une poutre ou dalle fléchie

- une plaquette à pince, un bloc–notes, des crayons marqueurs,
- un vernier grossissant ayant une échelle de 0,1 mm, de la ficelle, un fil à plomb et un niveau de menuisier, et
- une lampe de poche, un couteau à mastic ou un canif robuste, et un marteau.

3.1.2.3 Évaluation

L'une des exigences de tenue de base pour cette phase de l'inspection est l'"acceptabilité visuelle" c'est–à–dire que l'apparence des éléments travaillant en flexion ne doit pas être considérée inadmissible en raison de flèches excessives. Il faut examiner les joints dans les murs, plafonds et planchers pour déceler s'il n'y a pas signe de déplacement ou de déformation.

Un autre facteur à considérer est l'"acceptabilité sur le plan du confort", c'est–à–dire l'absence de vibrations excessives causées par les pas de personnes marchant normalement. La marche permet une évaluation subjective initiale de l'acceptabilité des planchers sur le plan du confort. (Voir l'essai de choc des talons de la référence 39.)

Les aires de plancher servant au stockage lourd doivent être inspectées avec soin. De lourdes charges telles que les classeurs peuvent obliger à maintenir la charge moyenne à la valeur de calcul en prévoyant des allées plus larges. Le document de référence 12 fournit les largeurs d'allée recommandées pour les classeurs, les rayonnages de bibliothèque et d'autres types de stockage. Pour éviter la surcharge des solives ajourées, l'inspecteur doit vérifier la largeur des allées et s'assurer que les rangées sont perpendiculaires aux solives.

3.1.2.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Deux jours–personnes peuvent suffire pour l'inspection d'un édifice de 10 000 m² pourvu qu'aucun problème particulier ne soit découvert et que les zones à observer soient accessibles. Ce chiffre inclut le temps du personnel technique et de soutien nécessaire pour la préparation et la révision des listes de vérification et des questionnaires.

3.1.2.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Des registres clairs et complets doivent être tenus pendant l'inspection. L'étage et l'emplacement de toutes les zones inspectées doivent être identifiés au moyen de coordonnées ou de repères bien définis. Toutes les feuilles de registre doivent être standard et porter les initiales de l'inspecteur. Pour la prise de photographies, chaque photo doit être localisée sur un plan et datée, et leur échelle doit être indiquée à l'aide d'un ruban ou d'un autre objet.

3.1.3 Analyse de l'usage et de l'occupation

Cette technique d'évaluation consiste à utiliser les registres, des rapports et des entrevues pour établir une corrélation entre les dommages observés et les travaux d'entretien et de réparation exécutés sur le bâtiment. Des questions concernant la tenue de la structure du bâtiment sont posées au gérant et aux occupants afin de recueillir leurs témoignages. Cette technique vient compléter l'analyse des lieux par des experts.

3.1.3.1 Description des techniques

Le gérant de l'immeuble, les occupants et, s'il est disponible, le responsable des travaux sont interviewés et leurs réponses sont enregistrées. Un magnétophone peut être utilisé si les personnes concernées le permettent.

La section 5.5 fournit une liste des questions qui pourront aider l'enquêteur. D'autres questions devraient être ajoutées au besoin.

3.1.3.2 Équipement

Un magnétophone peut être utilisé.

3.1.3.3 Évaluation

Les formules remplies doivent être analysées et combinées aux résultats de l'analyse des lieux par des experts afin d'améliorer l'évaluation de la structure.

3.1.3.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut environ deux jours-personnes pour effectuer ces entrevues et documenter les renseignements recueillis.

3.1.3.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Tous les questionnaires doivent être conservés et leur analyse doit faire l'objet d'un rapport.

3.2 ÉTAPE II - TECHNIQUES SIMPLES DE MESURE

Ces techniques d'évaluation utilisent des essais non destructifs pour déterminer l'état des planchers et toits ou des flèches excessives où des vibrations dérangeantes ont été décelées au cours de l'inspection oculaire par les experts et lors de l'analyse de l'occupation et de l'usage ou encore suite aux plaintes du ministère-client ou des occupants.

Pour réduire les coûts au minimum, les essais devraient être effectués sur des zones représentatives ou critiques. La première série d'essais est effectuée pour mesurer l'amplitude des flèches. La seconde série permet de déterminer si les vibrations du plancher sont excessives.

3.2.1 Mesure des flèches et des déformations

Les différentes mesures des éléments structuraux permettent de déceler la présence de flèches, rotations, tassements, déplacements latéraux, défauts de verticalité et inégalités de la surface des éléments structuraux. Les dimensions et niveaux réels des éléments du bâtiment sont nécessaires. L'enlèvement de certaines parties des surfaces supérieures et inférieures des planchers et toits peut s'avérer nécessaire pour recueillir ces données.

3.2.1.1 Description des techniques

Les déplacements verticaux peuvent être mesurés à l'aide d'une ficelle tendue en forme de "X" entre les quatre poteaux d'une travée. Un niveau d'arpenteur peut fournir des informations similaires en plus de déceler toute pente du plancher ou du plafond.

Dans certains cas, une mesure plus précise de l'inégalité des surfaces peut être obtenue à l'aide d'un capteur de déplacement glissant le long d'un guide horizontal. Une roue se déplaçant sur le plancher permet l'enregistrement du profil de ce dernier sur une bande de papier. L'appareillage peut être placé en différentes positions pour obtenir différents profils décrivant la surface du plancher. Bien que cet appareil soit simple, son utilisation est rarement nécessaire. La figure 3.2.1 illustre ce matériel.

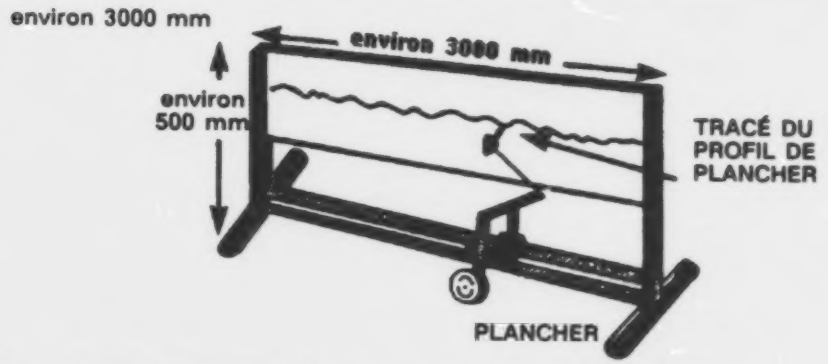


Figure 3.2.1 – Appareil permettant de mesurer le profil d'un plancher

Un tracé de la surface est produit par un transducteur de déplacement glissant sur une barre droite.

On peut déceler les rotations du plancher ou du toit grâce aux mesures de flèches ou encore les mesurer au moyen d'un niveau de menuisier gradué. Les défauts de verticalité qu'on décèle en plaçant des meubles près d'un mur sont fréquemment causés par la rotation des extrémités des poutres de plancher.

On peut facilement déceler les défauts de planéité à l'aide d'une "chaise de mesure". Pour cela, on peut se servir d'un fauteuil de bureau à quatre roulettes (voir la

figure 3.2.2) que l'on fait rouler sur le plancher. On enregistre les points où une des pattes ne touche pas la surface. Un ingénieur expérimenté devrait pouvoir déterminer si ce test révèle des caractéristiques du revêtement du sol ou l'état de la structure de plancher.

Les tolérances de planéité admissibles pour les planchers en béton sont indiquées dans la norme ACNOR CAN3–A23.1, article 22.10.

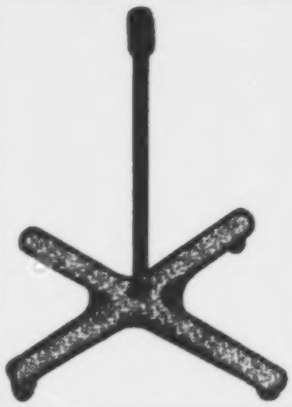


Figure 3.2.2 – "Chaise de mesure" pour déterminer la planéité d'un plancher.

L'une des extrémités du piétement commande un cadran indiquant l'écart du plancher par rapport à l'horizontale.

3.2.1.2 Équipement

En plus du matériel énuméré à la section 3.1.2.2 concernant l'inspection par des experts, le matériel suivant est également nécessaire:

- niveau d'arpentage et mires de nivellement,
- niveau de menuisier gradué,
- fauteuil pivotant à quatre roulettes ou "chaise de mesure",
- échafaudage et échelles de 2 m.

3.2.1.3 Évaluation

Les valeurs limites des flèches pour les surcharges sont données dans les normes ACNOR (CAN3) relatives aux structures en béton et en acier (références 36 et 37). Toutefois, la flèche mesurée au cours de l'inspection sera en partie due aux surcharges et en partie due aux charges permanentes et, dans le cas des dalles de béton, incluera les flèches dues au fluage. Pour effectuer une comparaison significative, l'inspecteur devra réduire les limites de flèche en considération du fait que les surcharges sont généralement inférieures aux valeurs de calcul et en tenant compte des effets de la charge permanente et du fluage du béton. Un critère basé sur la proportion entre la flèche et la charge est acceptable. Si une cambrure vers le haut a été exigée, il faut également en tenir compte.

Pour les éléments des cloisons ou plafonds plâtrés porteurs, la limite de flèche la plus stricte, qui est de 1/480 de la portée, peut être insuffisante pour éviter la fissuration.

Toutefois, la réparation de ces fissures peut rendre possible l'acceptation d'une flèche admissible supérieure.

L'inspecteur doit s'assurer que le revêtement de sol ne dissimule pas une structure de plancher fléchie. Si c'est le cas, il faut procéder à une inspection complète de l'ensemble.

Pour le test de la "chaise de mesure", un défaut de planéité d'au plus 1 mm pour une des quatre pattes est généralement acceptable. La rotation des bords de dalle ne devrait pas excéder 0,7 degré ou une pente de 12/1000, telle que mesurée à l'aide d'un niveau à bulle gradué.

3.2.1.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut environ une semaine pour effectuer cette phase de l'évaluation pour un édifice type de 10 000 m².

3.2.1.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Les flèches supérieures aux valeurs admissibles et les autres défauts tels que les fissures ou les portes difficiles à ouvrir devraient être notés sur des dessins en indiquant leur emplacement. Des registres et dessins sont également requis pour documenter les rotations et inégalités de surface. Tous les registres et schémas devraient être effectués sur des formulaires standard et initialés par l'inspecteur.

3.2.2 Vibrations excessives des planchers

Les planchers légers et à longue portée ou les dalles de béton minces ne supportant pas des éléments amortisseurs tels que des moquettes, cloisons ou plafonds et conduits suspendus sont susceptibles de vibrations excessives causées par des pas, de la machinerie, des autobus ou des trains à proximité.

Deux types de problèmes de vibrations peuvent survenir selon la nature de la source d'excitation: les vibrations continues ou constantes et les vibrations transitoires. Les vibrations continues sont causées par les forces périodiques produites par certaines activités humaines ou de la machinerie, et sont amplifiées lorsqu'elles sont en résonance avec la fréquence principale de la dalle. Les vibrations transitoires causées par les pas ou d'autres chocs diminuent à un taux qui dépend de la capacité d'amortissement structurel de l'édifice.

3.2.2.1 Description des techniques

L'essai normalisé de choc des talons est utilisé pour déceler des vibrations excessives d'un plancher (voir la référence 37). Pour cet essai, une personne pesant environ 75 kg se tient sur la pointe des pieds avec les talons à environ 6 cm du sol puis se laisse tomber sur les talons. La vibration ainsi produite est mesurée par un accéléromètre installé au centre du plancher. Un enregistreur de diagrammes peut être utilisé pour enregistrer les données. Une personne assise à proximité de l'accéléromètre peut donner une évaluation subjective de la vibration.

De plus, le confort qu'offre le plancher peut être vérifié lorsque plusieurs personnes y circulent. L'accélération de crête des vibrations de plancher peut être comparée à la valeur du seuil.

3.2.2.2 Équipement

Le matériel suivant est utilisé pour l'analyse de simple instrumentation à l'étape II:

- un enregistreur de diagrammes à bande;
- un conditionneur de signal qui élimine les fréquences supérieures à environ 1,5 fois la fréquence fondamentale estimée. Dans le cas des planchers à solives en acier ajourées et à longue portée, cette fréquence devrait être inférieure à 20 hertz.
- un magnétophone peut être utilisé pour enregistrer le signal de réponse afin de l'analyser ultérieurement.

3.2.2.3 Évaluation

La figure 3.2.3 illustre une réponse typique à l'essai de choc des talons. Lorsque la réponse est ainsi tracée, on peut déterminer l'accélération et l'amortissement.

Les valeurs déterminées à partir de l'essai de choc des talons sont ensuite tracées sur le graphique des seuils d'inconvénient (illustré à la figure 3.2.4) afin de déterminer si les vibrations du plancher sont excessives.

3.2.2.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut environ une journée pour étalonner les instruments et mesurer une ou deux travées types. Il faut prévoir un peu plus de temps pour documenter les données recueillies.

3.2.2.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

La documentation devrait inclure la désignation des endroits où des essais de choc des talons ont été effectués, des croquis, une description du plancher et les diagrammes des caractéristiques de vibrations du plancher qui ont été enregistrés.

3.3 ÉTAPE III - MONITORAGE DÉTAILLÉ ET SPÉCIALISÉ

Lorsque la gravité ou l'ampleur du problème le justifie, des essais nécessitant une instrumentation plus complexe peuvent être effectués. Ces essais sont dits complexes dans le sens que du matériel spécial est nécessaire et qu'il faut y mettre des efforts et une préparation considérables.

Lorsque les planchers, le toit ou tout autre élément structural a été endommagé, une inspection spéciale est nécessaire pour évaluer la stabilité générale du bâtiment. Le mode opératoire consiste à évaluer la résistance réelle des matériaux structuraux et les dimensions des éléments structuraux puis à réanalyser la structure à l'aide de ces données. Au besoin, un essai de charge globale ou partielle de la structure peut aussi être effectué.

La plupart des essais utilisés pour mesurer les caractéristiques des éléments structuraux sont non-destructifs mais il faut parfois prélever des carottes ou échantillons, ce qui cause ainsi des détériorations locales.

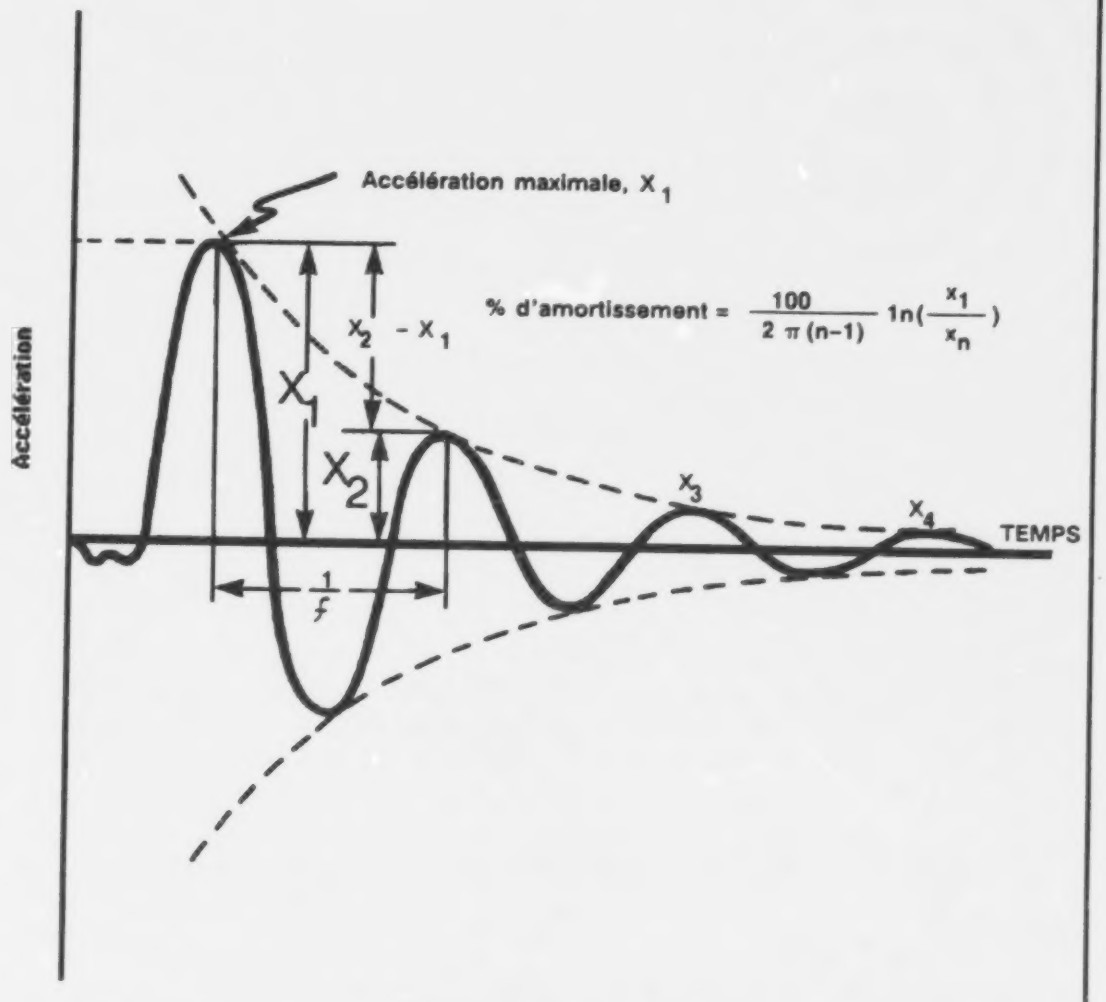
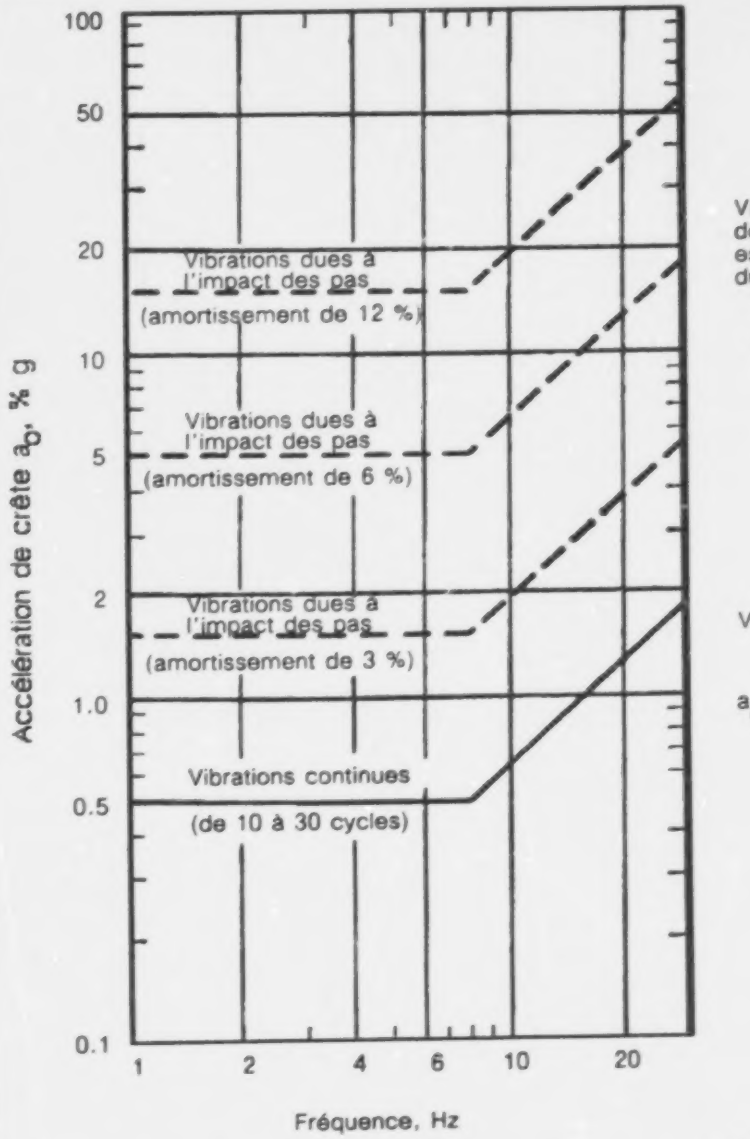


Figure 3.2.3 – Réponse type à l'essai de choc des talons.

Taux d'amortissement de l'oscillation mesuré par décrément logarithmique.

Des essais globaux, tels que les essais de charge, donnent des renseignements directs sur le comportement de la structure. À ces essais viennent s'ajouter des mesures localisées de la géométrie et des propriétés physiques de la structure, qui peuvent être utiles à l'analyse.

Le prélèvement et l'essai de carottes de béton ou le découpage et l'essai de plaques d'essai sont des essais fondamentaux, qui sont exigés pour toutes les analyses. Les



COURTOISIE DE L'ACNOR

Figure 3.2.4 – Seuils d'inconvénient correspondant aux vibrations du plancher dues aux pas

(Bâtiment résidentiels, écoles, bureaux)
(ACNOR CAN3-S16.1-M84, référence 37)

détails de ces essais sont décrits dans les normes ACNOR (CAN3) constituant les références 34, 35, 36 et 37.

La présente section décrit certains des essais in-situ non-destructifs les plus courants, ainsi que les essais globaux à pleine charge. Les méthodes d'essai non destructives permettent de mesurer des propriétés physiques qui sont en corrélation avec d'autres propriétés utiles à la conception. Par conséquent, leur précision dépend de la validité de cette corrélation. Voici quelques-unes des méthodes non destructives les plus courantes:

- les extensomètres ou jauges à résistance utilisés pour le monitorage des essais de charge,
- la méthode du rebondissement utilisée pour évaluer l'uniformité de la résistance du béton,
- l'essai aux ultrasons (propagation du son), utilisé pour évaluer l'homogénéité du matériau,
- l'essai magnétique (flux magnétique), utilisé pour localiser les barres d'acier,
- l'essai électrique parfois utilisé pour la détection de la rouille,
- les méthodes radiographiques (rayons-X, rayons-gamma, etc.), utilisées seulement dans des cas particuliers, et
- les essais de charge en vraie grandeur, auxquels on a rarement recours.

3.3.1 Extensomètres ou jauges de déformations

3.3.1.1 Objectif

Les jauges de déformations sont utilisées pour mesurer les contraintes dans les éléments structuraux subissant une déformation. Dans les bâtiments existants, qu'ils soient en acier ou en béton, les jauges de déformations sont utiles pour monitorer les efforts qui doivent être contrôlées lors d'un essai en charge.

Lorsqu'un grand nombre de jauges de déformations doivent être installées, il est préférable d'en confier la planification, l'installation et le monitorage à des spécialistes du domaine.

3.3.1.2 Description des techniques

Certains conducteurs métalliques subissent un changement de leur résistance électrique lorsqu'ils sont soumis à une déformation. Les jauges de déformations à fil résistant utilisent ce phénomène pour mesurer les déformations. Un élément sensible sous la forme d'un fil mince est collé directement à la surface propre de l'échantillon de façon qu'il suive les déformations de ce dernier. Dans le cas général des contraintes planes (surface libre), les déformations doivent être mesurées en au moins trois directions pour en déterminer l'importance et la direction. Par conséquent, les rosettes sont généralement constituées de trois jauges.

Une fois collées à un élément déjà déformé, les jauges de déformations peuvent aussi servir à mesurer les contraintes existantes. En enlevant le matériau qui maintient la jauge, on peut facilement mesurer la contrainte libérée. Une variante de cette méthode, appelée "forage d'un trou borgne", nécessite le percement d'un trou dans

l'acier au centre de la rosette. Cette méthode a été utilisée (voir référence 40) avec différents degrés de succès. Elle offre l'avantage de mesurer la déformation résiduelle en plus de celle due aux charges.

Lorsqu'elle est équipée d'un pont de Wheatstone, la jauge de déformations peut être reliée à des compteurs, galvanomètres, oscillographes et d'autres instruments. La tension de sortie est directement proportionnelle par rapport à la contrainte appliquée pour une gamme de contraintes indiquées par la jauge.

Les étapes à suivre pour effectuer des mesures de déformation sont les suivantes:

Étape un – Préparation de l'échantillon y compris:

1) préparation de la surface où la jauge doit être fixée,
2) enlèvement de tout matériau non adhérent, et
3) ponçage et nettoyage de la surface.

Étape deux – Préparation de l'appareillage d'essai, y compris:

1) le collage de la jauge au spécimen,
2) la soudure des conducteurs à la jauge et la libération des contraintes sur les conducteurs,
3) l'imperméabilisation de la jauge (recouvrement de cire, de vernis ou d'un autre produit d'étanchéité), et
4) l'étalonnage de tous les instruments électroniques conformément aux instructions du fabricant.

Étape trois – Les données peuvent être relevées manuellement ou par des lectures automatiques à des intervalles préétablis avec stockage sur ruban.

Étape quatre – Il est possible d'avoir à corriger les résultats d'essai pour tenir compte de facteurs tels que la température, une mauvaise adhérence et l'humidité. Le matériel actuel permet à l'inspecteur de choisir une jauge qui n'est pas influencée par ces facteurs.

3.3.1.3 Équipement

Les jauges de déformations devraient être choisies selon la plage des contraintes à mesurer et selon les conditions d'humidité et de température. Le nombre de jauges utilisées pour un essai dépend de la superficie à analyser, et peut varier de seulement deux ou trois à plusieurs centaines. Il doit être fixé par l'inspecteur. (Voir la figure 3.3.1.)

Il existe sur le marché une grande variété d'amplificateurs et d'enregistreurs pour jauges de déformations d'excellente qualité, portatifs et peu coûteux. Lorsqu'un grand nombre de jauges sont utilisées, il est préférable d'utiliser un indicateur de jauges de déformations à canaux multiples et à affichage numérique. Les systèmes à canaux multiples peuvent recevoir et traiter simultanément les signaux de plusieurs centaines de jauges de déformations.

Une colle et des accessoires de préparation de la surface sont également nécessaires.

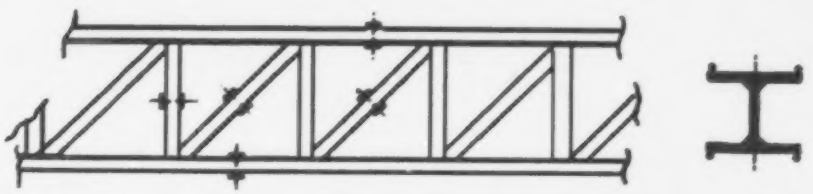


Figure 3.3.1 – Emplacement des jauges de déformations sur une poutre ferme d'acier

3.3.1.4 Évaluation

Lorsqu'elles sont bien choisies, les jauges de déformations ne sont pas affectées par la température, l'humidité, la fatigue ni par d'autres conditions, et leur mesure est précise à un pour cent près.

Ces lectures constituent des mesures des déformations sous l'action des charges et permettent, grâce à des calculs, d'évaluer la résistance des éléments. La méthode de calcul peut être simple pour un élément simple en traction, mais dans la plupart des cas l'interprétation des données est complexe et doit être confiée à un ingénieur expérimenté.

3.3.1.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Pour un essai de charge, les jauges doivent être installées par un inspecteur expérimenté. Selon le nombre de jauges, il faut prévoir de deux à cinq jours.

3.3.1.6 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Une documentation enregistrée automatiquement est préférable. Les courbes tracées devraient être identifiées comme suit: emplacement, heure et date de l'essai, noms des inspecteurs et tout autre renseignement pertinent.

3.3.2 Essai au scléromètre (Marteau Schmidt)

3.3.2.1 Objectif

Il s'agit d'un essai de dureté superficielle qui permet d'évaluer approximativement la dureté de la surface et il constitue une manière rapide et facile de vérifier l'uniformité du béton. Cet instrument mesure le rebond d'une tige projetée par un ressort, après qu'il a frappé une surface de béton unie. La lecture du rebond donne une indication de la résistance du béton. Cet essai n'est pas assez précis pour fournir des valeurs de résistance afin de déterminer la capacité des éléments, mais elle constitue une technique peu couteuse pour déterminer l'uniformité du béton en différents endroits de la structure du bâtiment et pour comparer des bétons entre eux.

3.3.2.2 Description des techniques

On utilise le scléromètre en appuyant légèrement le piston contre la surface du béton. Pour commencer l'essai, on appuie fortement le piston contre le béton, ce qui libère le

poids de sa position de verrouillage sous l'effet d'un ressort, causant ainsi l'impact. On peut ensuite lire le "nombre de rebondissements" sur l'échelle du scléromètre alors qu'il est encore en position d'essai. Plusieurs essais sont effectués et la valeur moyenne est ensuite utilisée pour déterminer la résistance du béton à partir du tableau de résistance. Le scléromètre peut être utilisé à la verticale, à l'horizontale ou en position inversée.

3.3.2.3 Équipement

Un scléromètre (ou Marteau Schmidt) de type commercial.

3.3.2.4 Évaluation

La méthode ne peut être utilisée pour déterminer de façon fiable la résistance du béton, à moins que le scléromètre soit étalonné à l'aide de cylindres de béton coulés et durcis dans des conditions identiques à celles du béton de la structure.

Dans les bâtiments existants, le scléromètre est généralement utilisé pour comparer la résistance du béton en différents endroits de la structure, ce qui permet de déterminer les zones de faible résistance. L'indication des valeurs de rebondissement sur un plan d'étage permet d'identifier les zones présentant des problèmes.

scléromètre The method cannot be used to reliably determine concrete strength unless the hammer is calibrated using cylinders cast and cured under conditions identical to those of the concrete in the structure. On existing buildings, the hammer is usually used to compare the strength of concrete in different parts of the structure and thus determine low strength areas. Putting the rebound values on a drawing of the floor plan helps to identify problem areas.

3.3.2.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Les emplacements d'essai et les valeurs de rebondissements doivent être notés.

3.3.3 Essai d'arrachement CAPO

3.3.3.1 Objectif

This test is used for measuring the in–situ compressive stength of dubious or damaged concrete or of newly–cast hardened concrete. The CAPO pull–out test is patented and available in Canada.

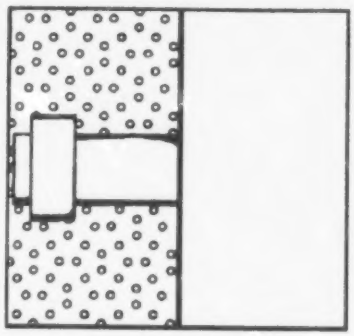
3.3.3.2 Description des techniques

Pour cet essai, un outil spécial est utilisé pour forer un trou de 18 mm de diamètre perpendiculaire à la surface du béton. Ce trou est percé jusqu'à une profondeur de 50 mm et doit se trouver à au moins 20 mm de tout élément d'armature. On utilise ensuite une fraiseuse à diamants pour agrandir ce trou à un diamètre de 22 mm à partir de 25 mm sous la surface du béton jusqu'à 35 mm sous cette surface. Un pachomètre peut être utilisé pour détecter les armatures et une meule, pour lisser la surface du béton.

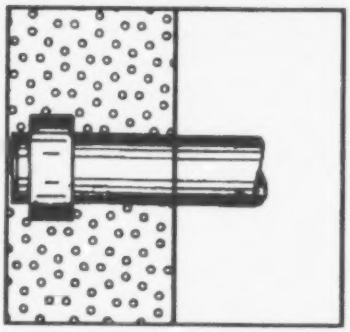
Une pièce extensible est ensuite insérée dans le trou et ouverte par un dispositif spécial d'extension. Cette pièce et le dispositif sont fixés à une tige de traction, elle–même

reliée à une machine d'arrachement (généralement le dispositif d'essai LOK) et un anneau de contre-pression de 55 mm est placé sur la surface soumise à l'essai.

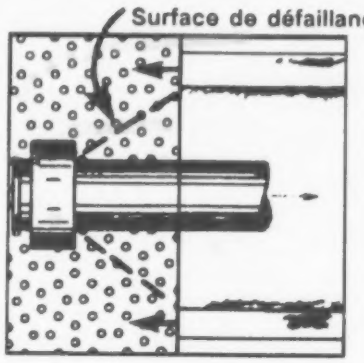
On applique la force de traction en tournant la poignée de la machine d'arrachement ce qui cause une compression croissante d'une petite carotte tronconique de béton. La résistance CAPO est la force maximale mesurée pendant la traction. La figure 3.3.2 donne le mode opératoire pour l'essai CAPO.



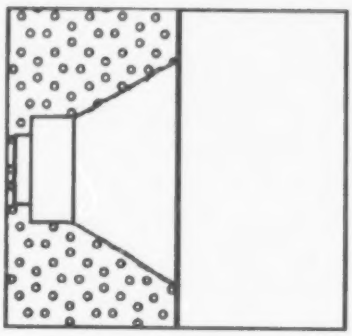
Percer un trou de 18 mm de diamètre perpendiculaire à la surface, puis l'agrandir à 25 mm à partir de 25 mm de la surface.



Insérer la pièce extensible.



Raccorder à la machine d'arrachement.



Enregistrer la lecture maximale pendant l'arrachement et inspecter le cône de béton. Réparer le béton.

Figure 3.3.2 – Mode opératoire de l'essai CAPO pour mesurer le béton durci.

Après l'essai, le cône de béton est retiré pour inspection. On établit ensuite la moyenne de plusieurs essais et on calcule l'écart type. La résistance à l'arrachement caractéristique est calculée en déduisant de la valeur moyenne l'écart type multiplié par une constante. Cette résistance peut être utilisée pour déterminer si les spécifications du béton ont été respectées lors de la construction.

3.3.3.3 Équipement

Un ensemble à essais portatif CAPO (avec machine d'arrachement LOK et pièces d'insertion CAPO), une perceuse électrique avec foret à diamant de 18 mm de diamètre, une fraiseuse à diamants, une meule industrielle et un pachomètre.

3.3.3.4 Évaluation

La défaillance du béton au cours de l'essai CAPO est causée par la fragmentation du cône de béton lors de la traction exercée entre la pièce extensible ouverte et l'anneau de contre-pression. Il permet donc une mesure directe de la résistance à la compression. La résistance CAPO correspond bien à la résistance à la compression d'un cylindre. Le document de référence 28 fournit des équations de conversion pour la résistance CAPO et la résistance du béton à la rupture.

3.3.3.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Puisque l'essai en tant que tel ne nécessite qu'environ quinze minutes pour une personne habituée au perçage au diamant et aux essais du béton in-situ. Étant donné que le matériel est portatif, on peut effectuer jusqu'à vingt tests par jour.

3.3.3.6 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Il faut tenir un registre des emplacements et de la résistance à l'arrachement.

3.3.4 Méthode de la vitesse des impulsions ultrasoniques

3.3.4.1 Objectif

Il existe sur le marché deux types d'instruments, l'un pour le béton ou le bois et l'autre pour l'acier, utilisant les impulsions ultrasoniques pour analyser les matériaux de construction et les dimensions des éléments.

Le premier type d'instrument peut être utilisé pour déterminer l'homogénéité et la présence de vides, de fissures, de nids de cailloux ou d'autres imperfections dans le béton. Il permet aussi de déceler les changements dans le matériau dus à l'effet localisé du feu, du gel ou de produits chimiques, ainsi que l'épaisseur des dalles et, jusqu'à un certain point, la qualité de résistance du béton. Le pourrissement, la dégradation et les cavités dans le bois peuvent aussi être analysés et les paramètres du matériau peuvent être comparés à ceux d'un échantillon connu.

Le second type d'instrument est utilisé pour mesurer l'épaisseur de l'acier, telle que l'épaisseur des âmes ou des ailes des poutres ou poutrelles en H ou en I, l'épaisseur des membrures supérieures et inférieures des solives, l'épaisseur d'un platelage de toit, etc. Certaines de ces mesures, telles que l'épaisseur de l'âme, sont généralement impossibles

à prendre avec les pieds à coulisse ordinaires, à moins que des échantillons soient prélevés. La méthode par les ultrasons est non destructive et très précise.

3.3.4.2 Description des techniques

La méthode de la vitesse des impulsions ultrasoniques mesure le temps que prend une impulsion ultrasonique à traverser un solide. Cette vitesse dépend de la masse volumique et des propriétés élastiques du matériau. La résistance de certains matériaux est reliée à leur rigidité élastique et la mesure de la vitesse des impulsions ultrasoniques peut être utilisée pour indiquer ces propriétés.

Le bois et le béton peuvent être évalués de cette façon. Par contre, appliquée aux métaux, cette méthode sert à mesurer l'épaisseur ou, dans le cas de soudures, à déceler les fissures qui renvoient des échos en direction du faisceau incident, échos qui sont reçus par un capteur transducteur.

3.3.4.3 Équipement

Le PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destrucive Digital Indicating Tester) ou un matériel d'essai normalisé équivalent (voir la figure 3.3.3).

Un "calibre d'épaisseur électronique" pour mesurer l'épaisseur de l'acier.

3.3.4.4 Démarche détaillée

Le PUNDIT produit une impulsion ultrasonique dans le transducteur-émetteur et mesure le temps de transmission que prend l'impulsion pour aller de l'émetteur au transducteur de réception. Une barre étalon, sur laquelle est inscrit son temps de transmission des impulsions, permet de vérifier le zéro de l'appareil. L'appareil donne une lecture directe en micro-secondes pour une longueur donnée de trajet.

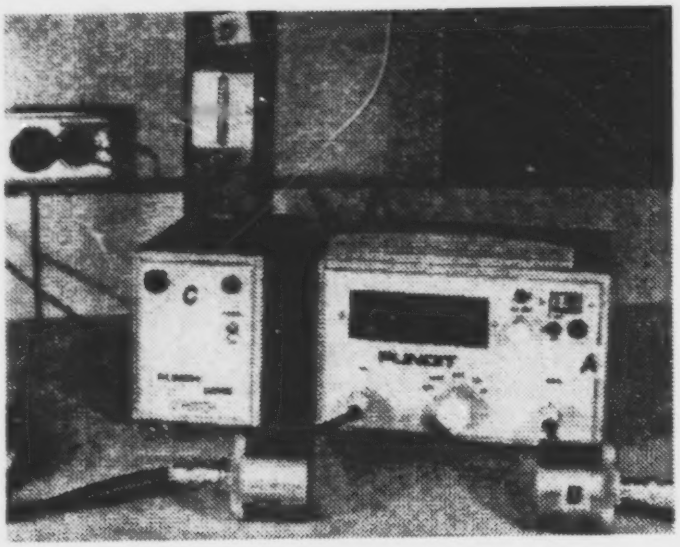
Dans la détermination des propriétés du béton, les mesures de vitesse des impulsions peuvent être affectées par un certain nombre de facteurs y compris une surface de contact trop lisse ainsi que par la longueur du trajet. Les autres facteurs qui peuvent l'affecter sont la température, l'humidité et l'âge du béton en plus de la présence d'acier d'armature.

Le calibre électronique produit également une impulsion ultrasonique, mais son transducteur et son récepteur sont monobloc. La surface du béton doit être exempte de rouille mais n'a pas besoin d'être tout à fait lisse. On peut rendre la surface acceptable à l'aide d'une meule portative ou d'un papier d'émeri. On étend de l'huile sur la surface pour assurer un bon contact électrique. L'épaisseur de l'acier peut être mesurée à une précision variant entre 25 et 250 micromètres. L'instrument a sa propre plaque d'étalonnage incorporée.

Bien qu'ils soient généralement utilisés pour l'acier, les calibres d'épaisseur électroniques peuvent être réglés pour mesurer l'épaisseur d'autres métaux qu'on retrouve dans les bâtiments plus anciens tels que la fonte et le cuivre.

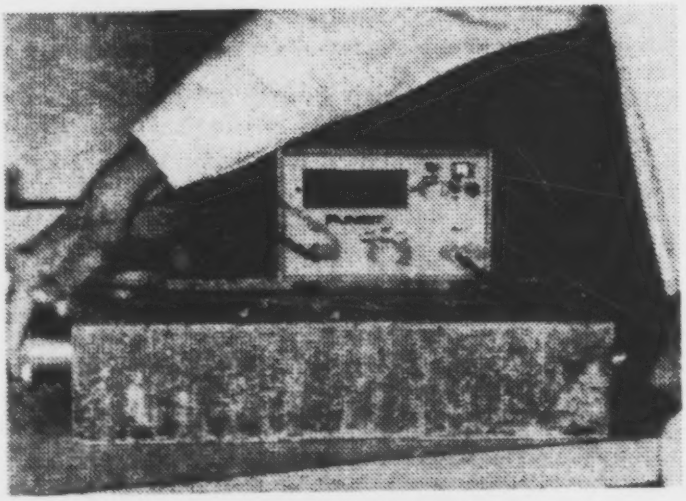
3.3.4.5 Évaluation

Les techniques de mesure de la vitesse des impulsions électroniques constituent un excellent moyen de détermination de l'uniformité du béton, mais on ne doit pas se fier uniquement à cette méthode pour les paramètres de résistance.



Le PUNDIT et ses accessoires:

A) Le PUNDIT
B) les transducteurs
C) le bloc d'alimentation
D) la barre étalon



Un échantillon de béton de 3.5 x 4 x 16 po (89 x 102 x 406 mm) à l'essai.

(Courtoisie de la Direction des mines d'EMR)

Figure 3.3.3 – Photos du PUNDIT

(Courtoisie de la Direction des mines d'EMR)

La documentation du fabricant et les documents de référence nuos 22 et 24 fournissent une description complète de la méthode d'évaluation pour chacun des nombreux usages du PUNDIT. En général, des vitesses élevées de propagation des impulsions dans le béton indiquent que ce dernier est en bon état, mais un grand nombre de facteurs affectent ces mesures.

3.3.4.6 **Moment de l'évaluation et ressources à prévoir**

Le matériel d'essai PUNDIT est portatif, relativement peu coûteux et facile à utiliser. Deux jours–personnes peuvent suffire pour un bâtiment de 10 000 m² de surface de plancher, mais une analyse plus complète peut nécessiter davantage de temps.

3.3.4.7 **Documentation: établissement et classement des documents de travail**

Une documentation complète décrivant l'emplacement des essais, les mesures prises et les autres observations in–situ est nécessaire.

3.3.5 **Fibroscope**

Cet instrument est utilisé pour inspecter les endroits inaccessibles tels que les joints de dilatation, les plaques d'appui et les endroits dissimulés par des barres d'acier. Pour plus d'information sur l'utilisation du fibroscope, consulter le document connexe au présent rapport intitulé "Étude de la condition des murs et colonnes structuraux". (Voir la référence 10.)

3.3.6 **Pachomètre**

3.3.6.1 **Objectif**

Cet appareil sert à mesurer l'épaisseur de recouvrement de béton sur l'armature d'acier. Il peut aussi servir à éviter de couper l'armature lorsqu'on effectue un prélèvement de carottes dans des dalles ou pour localiser les attaches de maçonnerie, les encrages et les armatures de poutre ou de type échelle ou dans les murs de blocs.

3.3.6.2 **Description des techniques**

Cette méthode fait usage de dispositifs magnétiques et est basée sur le fait que la présence d'acier affecte le champ d'un électro–aimant. La sonde est constituée d'un noyau magnétique en forme de U et fortement perméable sur lequel sont montées deux bobines. Le courant traversant l'une des bobines produit dans la seconde un courant mesurable dont l'ampleur dépend de l'inductance du matériau et de la proximité des barres d'armature. Ce type d'instrument ne fournit des résultats acceptables que dans le cas d'éléments dont l'armature est légère.

3.3.6.3 **Équipement**

Un pachomètre et une barre d'étalonnage.

3.3.6.4 **Démarche détaillée**

Il faut vérifier la précision de l'instrument et l'utiliser sur un recouvrement de béton d'épaisseur connue au–dessus de l'armature. Pour mesurer le recouvrement, la sonde est placée sur la surface du béton parallèlement à la barre et est ensuite déplacée perpendiculairement à cette direction.

L'appareil donne directement l'épaisseur du recouvrement si les dimensions de la barre sont connues. Lorsqu'un pachomètre est utilisé pour localiser de l'acier, il n'est pas nécessaire de vérifier l'étalonnage. Lorsque la sonde est déplacée perpendiculairement à la barre, la lecture maximale survient lorsque la sonde est directement au–dessus de la barre.

3.3.6.5 Limites des techniques de mesure

Lorsque les barres d'armature sont nombreuses ou qu'il s'agit d'une armature lourde, il est presque impossible d'obtenir une mesure satisfaisante du recouvrement. Les documents de référence 11 et 22 fournissent des descriptions plus détaillées.

3.3.7 Programmes informatiques

3.3.7.1 Objectif

Une analyse totale ou partielle d'un bâtiment par ordinateur peut s'avérer nécessaire avant d'en arriver à une évaluation définitive. S'il faut effectuer un essai de charge, cette analyse est obligatoire avant l'essai. L'analyse effectuée par ordinateur peut être complétée par des calculs effectués manuellement.

3.3.7.2 Programmes disponibles

Les programmes informatiques suivants sont parmi les plus utiles pour l'évaluation des bâtiments existants:

a) Série "Quick Design" – D'abord conçus par TPC, ces programmes ont été mis à jour et sont maintenant disponibles chez Control Data. Chaque programme de cette série accomplit une tâche propre. Par exemple, l'un analyse les cadres, un autre les colonnes et un autre, les poutres. En 1985, il n'existait encore que des programmes pour les structures en béton.

b) ADOSS – Conçu par l'Association du ciment Portland, ce programme sert à vérifier la conception de différentes structures: plancher–dalle champignon, dalle plate, dalle et poutres ou dalle à raidissage intégré. Le programme utilise la méthode des cadres multiples équivalents (référence 36) et est distribué par Control Data.

c) AMECO – Ce programme peut être utilisé pour évaluer des étages ou des bâtiments en entier. On peut s'en procurer des versions pour l'acier ou pour le béton en s'adressant à Control Data ou à Northern Dynamics.

d) Programme RESST – Élaboré par l'Institut canadien de la construction en acier, ce programme peut être utilisé pour évaluer divers types de planchers en acier. On peut se le procurer chez Control Data.

e) Programmes généraux de calcul aux éléments finis – Des programmes tels que le SAP4 et le STARDYNE peuvent être utilisés lorsqu'on ne peut facilement appliquer des programmes plus simples.

3.3.8 Essais de charge en vraie grandeur

3.3.8.1 Objectif

Les essais de charge sont utilisés pour vérifier la résistance et les flèches des structures de plancher inhabituelles telles que les planchers de bâtiments historiques ou les

planchers dont on doute de la conformité aux codes. Les structures de toit inhabituelles peuvent aussi être mises à l'essai de cette façon. Les essais de charge sont généralement faits avec une charge supérieure aux valeurs de calcul afin de s'assurer que la marge de sécurité est suffisante.

3.3.8.2 Description des techniques

Cette technique ne doit être appliquée que si elle est recommandée suite à une étude d'ingénierie. Cette étude doit comprendre une analyse structurale détaillée tenant compte de tous les défauts tels que la détérioration des matériaux, les fissures importantes, les déformations de la structure ainsi que toutes les dimensions réelles. Un modèle informatisé de structure est extrêmement utile. Les essais non destructifs décrits précédemment peuvent être utilisés pour évaluer des paramètres tels que la résistance et le module d'élasticité du béton, et la présence de fissures et de pourriture du bois.

L'essai de charge en vraie grandeur consiste à installer des jauges à cadran et des jauges de déformation en des points-clés de la structure du plancher ou du toit. Des indicateurs de déplacement peuvent être installés dans les fissures, joints et petites ouvertures. L'enregistrement automatique et à distance des données est utilisé lorsque la structure du bâtiment est dangereuse ou lorsque les canaux de cueillette des données sont nombreux. Le plancher doit toujours être étayé, les étais s'arrêtant à environ 50 mm sous la sous-face de l'élément structural, ou à une distance différente selon le type de structure et la portée entre les appuis du plancher.

Les essais des dalles de béton sont décrits en détail au chapitre 10 de la norme ACNOR CAN3-A23.3-M84. La norme sur l'acier ne donne pas de mode opératoire pour les essais de charge.

Le plancher ou toit mis à l'essai est chargé lentement de façon à éviter une réponse dynamique. Les déformations et flèches sont enregistrées à chaque augmentation de charge et comparées aux valeurs de calcul. La valeur de la charge finale dépend du cas en question, comme le décrit la norme CAN3-A23.3-M84, qui contient également des exigences sur le déchargement et sur la reprise de la flèche. Dans la plupart des cas, les déformations maximales correspondent assez bien à celles prévues dans les calculs analytiques. Dans les autres cas, l'ingénieur devra faire preuve de jugement.

Dans le cas d'un plancher-dalle champignon, il est prudent de prévoir des réparations en raison du poinçonnement. Par conséquent, la dalle devrait être étayée par en-dessous et soumise à l'essai de flexion seulement.

3.3.8.3 Équipement

Le matériel requis varie selon l'échelle de l'essai de charge. Pour une grande surface, il faut s'assurer les services d'un entrepreneur qui effectuera l'essai conformément aux prescriptions de l'ingénieur responsable.

Matériel de construction

Le matériel de construction standard tel que les échafaudages, les échelles, les rampes et les brouettes sont nécessaires pour charger et décharger le ballaste. Lorsque des

digues provisoires sont construites pour contenir une charge hydraulique, il faut installer des feuilles de polyéthylène d'au moins 0,15 mm d'épaisseur supportées par des cadres de bois provisoires. Il faut aussi prévoir une pompe hydraulique, la robinetterie, les tuyaux et tous les accessoires nécessaires (voir la référence 23).

Matériau de mise en charge

Le choix du matériau de mise en charge dépend de sa disponibilité. Les sacs de sable, de plâtre ou de ciment ainsi que les blocs de béton et les briques conviennent tous. La charge doit rester au sec pour éviter d'augmenter son poids.

La charge hydraulique peut être constituée de récipients ou de retenues provisoires qui peuvent être remplis d'eau par des pompes. Le principal avantage de la charge hydraulique réside dans le fait qu'elle peut être augmentée au taux désiré et être rapidement retirée si la structure menace de s'effondrer.

Instruments

Des transducteurs de déformation et un réseau d'indicateurs de déformation multiplexe à affichage numérique peuvent être employés. Les jauges de déformations peuvent être de différents types tels que à fil résistant, jauges imprimées ou rosettes. (Voir la référence 29.) Des transducteurs de déplacement linéraire et angulaire ou des jauges à cadran peuvent être utilisés. Des dynamomètres de force ou pression peuvent être préférable dans certains cas. Des indicateurs seront utilisés pour mesurer les déplacements des fissures.

D'autres instruments peuvent être nécessaires, y compris un collecteur de données avec imprimante, minuteries, compteurs, commutateurs automatiques, alimentation électrique programmable et un magnétophone à signaux

3.3.8.4 Évaluation

L'essai de charge est reconnu par la norme CAN3-A23.2-M77 comme moyen acceptable d'évaluation de la capacité des éléments structuraux en béton dont la résistance est douteuse.

La structure est acceptable si ses caractéristiques de résistance et de reprise de la flèche sont adéquates et, dans le cas de la flexion, si elle offre une tenue en service acceptable au niveau de charge prescrit (c'est-à-dire que les déformations dues à l'essai de charge se situent en-deçà des limites admises).

3.3.8.5 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Étant donné que les ressources en main-d'oeuvre et le coût sont généralement importants, un devis estimatif doit suivre l'étude d'ingénierie précédant l'essai. Un essai de charge type pour une ou deux travées de dalles de planchers peut nécessiter une journée pour mettre le matériel et l'échafaudage en place, trois journées pour l'essai et une autre journée pour le déchargement et le nettoyage.

3.3.8.6 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Un rapport complet est exigé. Ce rapport doit inclure une description complète de l'inspection préliminaire, y compris les essais non destructifs, l'analyse structurale, l'étude d'ingénierie de l'essai de charge, la structure des échafaudages et une description détaillée de l'essai de charge, y compris des photographies, le détail des charges appliquées, la séquence d'application des charges, les flèches résultantes et les caractéristiques de réponse de la structure.

4. RÉFÉRENCES

1. **Model Documents for the Evaluation, Approval, and Inspection of Manufactured Buildings**, NBS Building Science Series 87, Département americain du Commerce, NBS, juillet 1976.

2. **Technology of Building Maintenance**, (Ministère des Travaux et bâtiments publics, rapport de Bath University of Technology, Londres, Angleterre, 23 – 24 avril, 1968.

3. **Building Defects and Maintenance**, Building Research Establishment, BRE Digest, The Construction Press Ltd., Lancaster, Angleterre, 1978.

4. **Building Construction**, Building Research Establishment, BRE Digests, The Construction Press Ltd., Lancaster, Angleterre, 1977.

5. **Building Failure**, Building Research Establishment Series, Volume 5, Lancaster, Angleterre.

6. Bickerdike, Allen, Rich & Partners for **Building, Design Failures in Buildings**, première et deuxième séries par George Godwin Ltd., Londres, Angleterre, 1971–82.

7. Murray A. Slama, **Construction Inspection Manual**. Construction Industry Advancement Fund, Burlingame, Californie, 1973.

8. Eldridge, H.J., **Common Defects in Buildings**, Londres, Angleterre, 1976.

9. Kavyrchine, M., **Inspection and Monitoring**, Int. Assoc. for Bridge & Structural Engineering Symp. (IABSE), Venise, Italie, janvier 1983.

10. **Murs et colonnes structuraux**, relevé de la condition, document interne D30, Rendement des Immeubles, TPC, 1988.

11. **Garages de stationnement**, relevé de la condition, document interne D32, Rendement des Immeubles, TPC, 1988.

12. Adjelian and Associates Inc., **A Survey of Floor Live Loads on Office Buildings**, décembre 1982.

13. Brill, M., **Performance Testing for Buildings**, ASCE J Construction Division, Volume 98, No. C01, mars 1972.

14. Crockett, J.H.A., **Presentation of Structural Failures by Repeated Vibration Loading**, Pentech Press, Plymouth, Devon, Angleterre, 1976.

15. Steffens, R.J., **Structural Vibration and Damage**, Building Research Establishment Report, HMSO, Londres, Angleterre, 1974.

16. E.H. Gaylor et C.N. Gaylor (éditeurs), **Structural Engineering Handbook**, McGraw–Hill, 1979.

17. Griffins, L.G., **Prevailing Attitudes of A/E's in Performing Inspection Services**, Journal of Professional Issues Eng. Volume 110, No. 4, octobre 1984.

18. **Roof Parapet Failure and Roof Load Test – Building No. 18, Springhill Institution, Nova Scotia**, Travaux publics Canada, Nouvelle-Écosse, juin 1984.

19. Allen, D.E. et Rainer, J.H., **Vibrations des planchers**, Division des recherches en bâtiment, CNRC, CBD 173F, Ottawa, septembre 1975.

20. Hsi, G.C., Lew, H.S., Yorkel, F.Y. et Somes, N.F., **Field Testing of Conventional Buildings for Static and Dynamic Deflections**, Bureau national de normalisation, publication spéciale numéro 361, Volume 1, Proc. RILEM-ASTM-CIB Symp., Philadelphie, Pennsylvanie, 2 – 5 Mai 1972.

21. Bring, Christer, "Performance Requirements for Floors", National Bureau of Stand. Special Public. 361, Volume 1, Proc. RILEM-ASTM-CIB Symp., Philadelphie, Pennsylvanie, 2 – 5 Mai 1972.

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE SUR L'INSTRUMENTATION

22. V.M. Malhotra (éditeur), **In-Situ/Nondestructive Testing of Concrete**, American Concrete Institute, SP-82, Détroit, Michigan, 1984.

23. W.R. Schiever (éditeur) **Full-Scale Load Testing of Structures**, ASTM STP 702, Philadelphie, Pennsylvanie, Avril 1979.

24. **Pundit Manual for use with the Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicative Testing**, par CNS Instruments Ltd., Londres, Angleterre (non daté).

25. **Operating Instructions Pachometer Model C-4949**, James Electronics Inc., Chicago, (non daté).

26. **Cr21 Micrologger Operator's Manual**, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah (non daté).

27. **HP 3582A Spectrum Analyzer**, Catalogue de la compagnie Hewlett Packard (non daté).

28. Peterson, C.G., **LOK-test and CAPO-test development and their applications**, Technical Note 382, Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 1, Volume 76, mai 1984.

29. **Nondestructive Testing**, NASA SP-51113, U.S. Government printing office, Washington, D.C., 1983.

30. Malhotra, V.M., **Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods**, ACI Monograph No. 9, ACI, Détroit, Michigan, 1976.

31. **State-of-the-Art of Structural Test Methods for Walls, Floors, Roofs and Complete Buildings**, NBS Building Science Series, No. 58, US Department of Commerce, Bureau national des normes, novembre 1974.

RÈGLEMENTS

32. **Code national du bâtiment du Canada**, Ottawa, 1985.

33. **Supplément du Code national du bâtiment du Canada**, Ottawa, 1985.

34. CAN3-A23.1-1M77, **Béton – Constituants et exécution des travaux**.

35. CAN3-A23.2-M77, **Essais concernant le béton**.

36. CAN-A23.3-M84, **Calcul des ouvrages en béton dans les bâtiments**.

37. CAN3-S16.1-M84, **Charpentes de bâtiment en acier** et son annexe G, **Guide relatif aux vibrations des planchers**.

38. CAN3-086-M84, **Règles de calcul des charpentes en bois**.

39. **Historical Record Dimensions and Properties, Rolled Shapes of Steel and Wrought Iron Beams and Columns, 1873 to 1952**, American Institute of Steel Construction, New York, New York, 1981.

AUTRES RÉFÉRENCES

40. Jamieson, D.M., Calder, D.G., **The Recovery and Repair of the Second Narrows Railway Bridge**, par Canadian Struct. Eng. Conf., 1982.

41. **Metric Design Manual – Precast and Prestressed Concrete**, Institut canadien du béton précontraint, NHA S 450, Ottawa, Ontario, décembre 1982.

5. ANNEXES

5.1 TERMES ET UNITÉS STANDARDS DE MESURE

Cette section est sans objet.

5.2 AUTORITÉS COMPÉTENTES ET RÉGLEMENTATION APPLICABLE

Tous les bâtiments fédéral construits au Canada doivent satisfaire aux exigences du Code national du bâtiment (CNB) en vigueur au cours de l'année de construction.

Le CNB renvoie à d'autres normes traitant des structures en béton, en acier et en bois. Parmi celles–ci, les normes ACNOR sur les éléments structuraux en acier, en béton et en bois sont d'une importance particulière. Lorsqu'il n'existe pas de normes canadiennes, les recommandations de l'ASTM pour l'essai des matériaux de construction devraient être consultées.

5.3 LISTE DE VÉRIFICATION POUR L'ANALYSE DES PLANS ET ARCHIVES

RÉSUMÉ DES RENSEIGNEMENTS CONTENUS DANS LES PLANS ET LE CAHIER DES CHARGES

Identification du bâtiment

Nom et adresse _____
Usage (bureaux, entrepôt, laboratoire, autres) _____
Date de construction _____
Date de rénovation ou modification _____
_____
Date de la dernière révision des plans _____
Type de structure (charpente en acier, dalle plate, maçonnerie armée, béton précontraint, autres) _____
Nombre d'étages et dimensions générales _____
_____
_____
Analyse faite par _____ Date

Planchers, platelages de toit et poutres (voir les figures 5.3.1 et 5.3.2).
Cocher vis à vis de la description convenant le mieux.

_____ Platelage d'acier, remplissage béton, plafond suspendu ou fibres projetées.
_____ Dalle de béton sur platelage d'acier. Poutre d'acier recouverte de béton.
_____ Dalle de béton armé. Poutre de béton armé.
_____ Solives d'acier ajourées, entre le platelage et le plafond.
_____ Solive de bois. Poutre massive ou en lamellé–collé.
_____ Dalle de béton cellulaire préfabriquée. Poutre de béton préfabriquée.
_____ Poutre en profilé d'acier.

Platelage d'acier, remplissage de béton, plafond suspendu en lattes et plâtre

Platelage d'acier, remplissage de béton, fibres projetées sur la sous-face du platelage

Dalle de béton sur platelage d'acier, effet composite, armature du moment négatif dans le béton

Dalle de béton armé

Solives en acier ajourées entre le platelage et le plafond

Solives de bois entre le platelage et le plafond

Dalle de béton cellulaire préfabriquée

Figure 5.3.1 – Éléments de construction types pour les planchers et toits

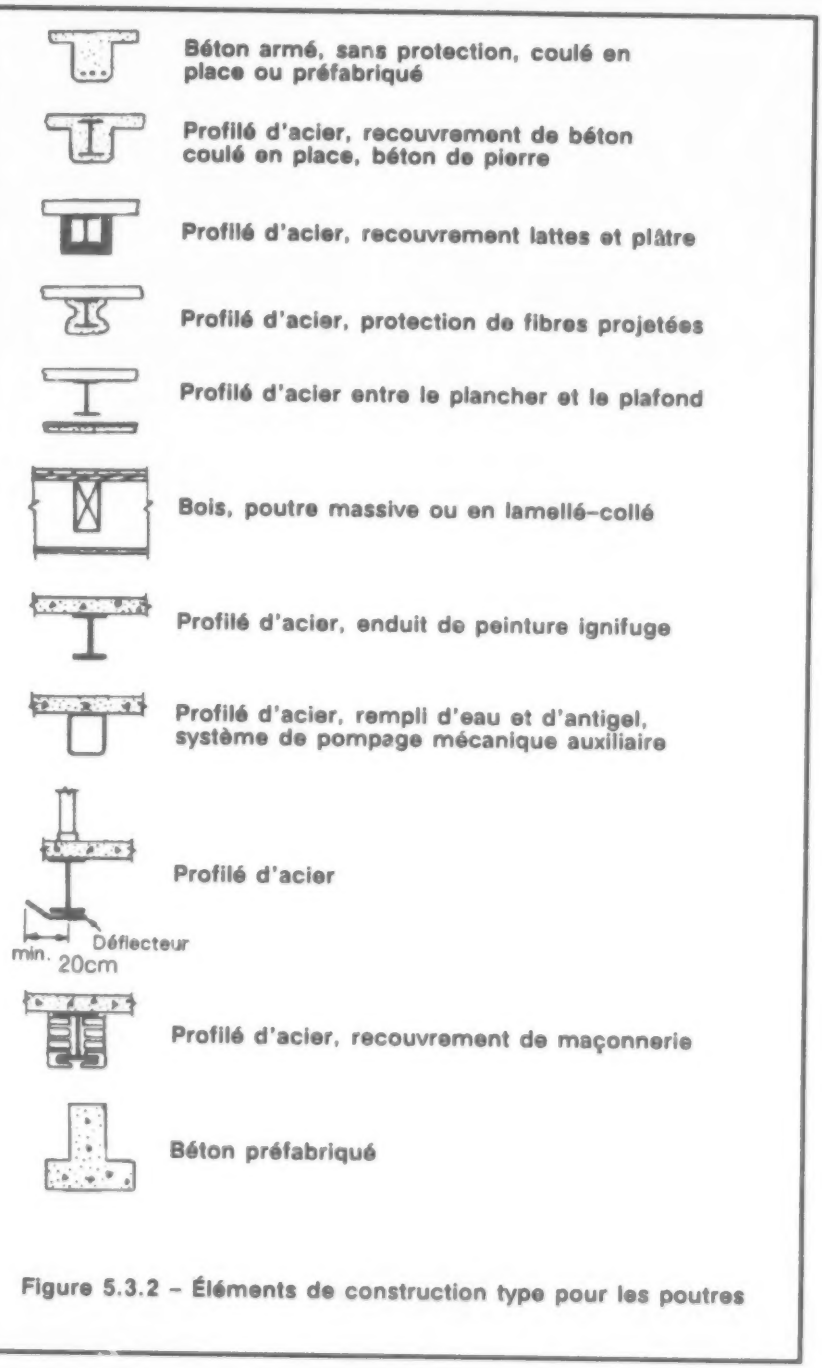

Béton armé, sans protection, coulé en place ou préfabriqué
Profilé d'acier, recouvrement de béton coulé en place, béton de pierre
Profilé d'acier, recouvrement lattes et plâtre
Profilé d'acier, protection de fibres projetées
Profilé d'acier entre le plancher et le plafond
Bois, poutre massive ou en lamellé-collé
Profilé d'acier, enduit de peinture ignifuge
Profilé d'acier, rempli d'eau et d'antigel, système de pompage mécanique auxiliaire
Profilé d'acier
Déflecteur
min. 20cm
Profilé d'acier, recouvrement de maçonnerie
Béton préfabriqué

Figure 5.3.2 – Éléments de construction type pour les poutres

Données de conception
(Fournir des dessins ou descriptions sur des feuilles distinctes. Cocher chaque élément complété.

_____ Plan d'un plancher type avec quadrillage et dimensions à tous les niveaux importants.
_____ Emplacement et détails des joints de dilatation (parasismiques et thermiques).
_____ Coupe type du bâtiment.
_____ Murs et cloisons reliés structuralement au plancher ou au platelage de toit.
_____ Portées réelles mesurées et portées admissibles selon le code.
_____ Description et catégories des matériaux des éléments structuraux (béton, bois des classes A, B, C, D, acier d'armature, etc.).
_____ Supports et appuis latéraux des solives, chevrons et poutres.

Dessins des planchers, toits et poutres

(Fournir des dessins à l'échelle avec coordonnées d'identification claireset des notes, explications et commentaires suffisants. Utiliser autant depages que nécessaire.)

Évaluation

(Dresser la liste des éléments et conditions dont la conformité au code est douteuse.)

5.4 LISTE DE VÉRIFICATION POUR ANALYSE DES LIEUX PAR DES EXPERTS

L'inspecteur est invité à prolonger cette liste générale afin d'inclure les conditions particulières.

Identification du bâtiment

Nom et adresse_____
_____
_____
Gérant du bâtiment _____ N° de téléphone _____

Description du bâtiment

Usage (bureau, entrepôt, laboratoire)_____
_____
Date de la construction_____
Type de structure (dalle plate, béton précontraint, structure d'acier avecsolives, autres)
_____
_____

Résumé des rénovations, modifications ou réparations

Summary of renovations, alterations or repairs _____

_____

_____

_____

Inspecté par _____ Date _____

Évaluation sommaire

(Cette partie doit être remplie après le reste de la liste de vérification. Utiliser les cotes suivantes: très mauvais/ mauvais/ passable/ bon/ très bon/ sans objet/ non accessible).

Éléments/parties	Apparence en surface	Apparence en sous-face	Apparence des supports	Cote globale
Platelage de toit				
Solives				
Plancher/dalles				
Joints de dilatation				
Poutres				
Chevrons				
Autres				
Cote globale du plancher/toit/poutres				

État général

Commentaires sur l'humidité, les flèches, la corrosion, les inégalités et les défauts structuraux graves

_____

_____

_____

_____

_____

Cote et évaluation des éléments travaillant en flexion

Utiliser les expressions suivantes: aucun/ quelques-uns/ nombreux/ très nombreux/ inacceptable/ acceptable.

Étage – ou toit (encercler l'un des deux)

- Accessibilité pour l'inspection _____

- Rapport de la portée à l'épaisseur des: poutres; dalles à armature dans un seul sens; dalles à armature dans deux sens

- Acceptabilité sur le plan visuel _____
  _____
  _____
  (affaisement, flèches excessives, humidité, corrosion, inégalités, rotation des bords, fissuration, flaques d'eau sur le toit, problèmes de structure graves)

- Acceptabilité sur le plan du confort_____
  _____
  _____
  vibrations excessives sous les pas, stress, anxiété (planchers et certainstoits) vibration des planchers (essai subjectif de choc des talons).

  amortissement du plancher (plafonds, conduits suspendus, moquettes et autres revêtements de sol, meubles, cloisons) craquement des planchers, grincement des toits

  ondulations de la surface du plancher

  problèmes causés par un affaissement: portes coincées, murs et enduits deplâtre fissurés

- Détérioration des matériaux _____

  armature rouillée, éclatement du béton, matériaux non adhérents, traces d'attaque chimique, écaillement de la peinture, humidité, endroits mouillés, efflorescence, couverture de toit, pourrissement, mauvaises odeurs

- Défauts de construction visibles_____

  nids de cailloux dans le béton, défauts des coffrages, barres d'armature apparentes, réparations visibles, éléments structuraux non finis

- Indices de surcharge de la structure _____

  affaissement causé par des charges excessives: tablettes, rayonnages aveclivres, matériel lourd, classeurs, fissures dans les plafonds, murs et près des fenêtres et portes.

- Autres éléments _____

  joints de dilatation: fuites, écrasement, débris, effet des cloisons sur les planchers, avaloirs

Structures à solives d'acier

- Profil du platelage _____
- Dimensions des membrures supérieures et inférieures; laminées à chaud ou à froid; espacement des noeuds _____
- Dimensions et emplacement de la première et de la seconde membrure à partir de l'extrémité _____
- Étiquette des solives (pour connaître le fabricant des solives; voir les catalogues de solives)_____
- Endroit possible où prélever les premiers échantillons (prolongements de la membrure inférieure du plafond) _____
- Contreventement de la membrure supérieure _____

Changements depuis la construction du bâtiment

- Matériel non mécanique _____
- Nouvelles cloisons, nouveaux planchers ou plafonds_____
- Nouvelle couverture (remplacement de la couverture, couverture superposée à l'ancienne, épaisseur de ballast, etc.) _____

5.5 QUESTIONS SUGGÉRÉES POUR LES ENTREVUES CENTRÉES

Les questions suivantes devraient être posées et les réponses enregistrées. Cette liste de questions peut être complétée pour couvrir les conditions particulières. (Le document de référence n° 7 constitue une excellente source dequestions.)

1. Nom et adresse du bâtiment _____
   _____
2. Date, heure et lieu de l'entrevue _____
   _____
3. Nom et adresse ou téléphone de l'enquêteur _____
   _____
4. Nom de l'interviewé_____et son occupation
   _____
5. Dates des rénovations ou modifications (commenter) _____
   _____

Questions à poser si l'interviewé était sur le chantier pendant la construction

- y a-t-il eu des problèmes de main-d'oeuvre sur le chantier?
- combien y avait-il de maçons?
- une protection contre les intempéries avait-elle été prévue pour le béton et les ouvriers pendant la construction? (chaufferettes, bâches, enceintes, chauffage des blocs de maçonnerie, du sable, de l'eau)
- a-t-on utilisé des adjuvents pour béton? (type, marque de commerce)

- a-t-on utilisé du chlorure de sodium ou de calcium?
- les dalles et autres éléments en béton ont-ils été recouverts chaque nuit?
- les coffrages ont-ils été bien scellés, huilés ou mouillés?
- des coffrages ont-ils été réutilisés, reconditionnés et traités?
- a-t-on prévu des joints de dilatation et de construction?
- les coffrages étaient-ils bien alignés?
- au sommet des murs?
- les coffrages ont-ils été enlevés trop tôt?
- les barres d'armature des poutres et dalles ont-elles été ligaturées près des supports pour l'armature inférieure et à mi-portée pour l'armature supérieure?
- les barres étaient-elles bien fixées pendant le coulage du béton?
- un recouvrement insuffisant des barres aurait-il pu causer de la rouille?
- un emplacement approprié a-t-il été prévu pour les vibrateurs?
- a-t-on vérifié les tolérances de mise en place des armatures, les recouvrements?
- a-t-on pris les précautions nécessaires pour éviter l'occlusion d'air pendant le coulage?
- les délais de livraison du béton ont-ils été respectés?
- a-t-on laissé le béton se tasser avant d'en couler d'autre par-dessus?
- la cure et la finition ont-elles été effectuées dans les conditions prescrites?
- le calfeutrage, l'étanchéité et la peinture des joints ont-ils été effectués dans les conditions prescrites?
- a-t-on déformé intentionnellement des éléments pour qu'il s'ajustent bien?
- tous les boulons ont-ils été bien installés?
- température: très chaude, chaude, tempérée, fraîche, froide, sous le point de congélation?
- y a-t-il eu de la pluie? combien de jours?
- l'inspecteur était-il présent? à combien de reprises?
- des échantillons d'essai ont-ils été prélevés?
- lors de l'exécution, a-t-on apporté des changements par rapport aux plans et devis?
- a-t-on ajouté de l'eau au béton juste avant le coulage?
- y a-t-il eu des interruptions prolongées (ou une nuit d'intervalle) entre des coulées de béton?
- quelles dispositions ont été prises pour que le joint de reprise ne soitpas situé à un endroit critique?
- l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton était-elle bonne?
- a-t-on utilisé des barres d'armature sales, huileuses, graisseuses, rouillées?
- y avait-il eu accumulation d'eau de pluie, de neige, de glace, de feuilles ou de débris dans les coffrages lorsque le béton a été coûlé?
- quelles méthodes ont été utilisées pour maintenir les barres d'armature et le grillage métallique en place pendant la coulée du béton?
- les soudeurs sur le chantier étaient-ils qualifiés?
- quelles étaient les conditions atmosphériques pendant le soudage sur le chantier?
- la protection anti-rouille (zingage, peinture, apprêts et autres enduits) de l'acier d'armature, de l'acier laminé à froid ou des tôles d'acier était-elle endommagée?

. l'acier était–il entreposé en un endroit sûr à l'abri des véhicules et matériaux qui auraient pu le déformer ou le frapper?

Si les documents sont disponibles, exiger les procès–verbaux des réunions de chantier et des copies des rapports d'inspection de la structure.

Questions à poser si l'interviewé est un occupant

. vous rappelez–vous si des réparations ont été faites? des fissures obturées?
. s'il y avait des endroits mouillés? de l'humidité? de la condensation?des dalles ou poutres froides?
. l'eau s'accumule–t–elle en certains points des planchers ou du toit ou les appareils à roulettes roulent–ils vers ces points?
. le bâtiment a–t–il subi des chocs, supporté des véhicules surchargés, subi un incendie ou une explosion depuis sa construction? y a–t–il des fenêtres ou des portes qui coincent ou se fissurent? cela se produit–il davantage en une saison particulière ou dans certaines conditions climatiques?
. est–ce que certaines fissures dans les murs, planchers ou plafonds s'agrandissent en certaines saisons?

Demander à l'occupant s'il a eu connaissance de problèmes structuraux et l'aider à s'exprimer. Les mots–clés suivants peuvent aider à formuler lesquestions: charge, vent, neige, pluie, froid, infiltration, résistance, position, vertical, latéral, diagonal, plan, compression, allongement, flèche, rotation, gauchissement, perméabilité à l'eau, étanchéité à l'eau,résistance au feu, effets du feu, vibrations, fissures, mortier, plâtre, blocs, corrosion, délamination, éclatement, désagrégation.

Questions concernant les planchers et toits

. demander s'il y a des flèches, des affaissements, des vibrations, des infiltrations d'eau.
. demander s'il y a des défauts visibles tels que fissures, déformations, de l'humidité, des inégalités, des dommages aux plafonds.
. demander à l'occupant s'il a été témoin de défectuosités.

5.6 LISTE DE DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donne un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résume les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevés	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toîts structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures